الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Zabana de RELIZANE
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nutrition



Filière : Sciences alimentaires

Spécialité : Master 2 Biochimie de la nutrition

Thème de mémoire fin d'étude

Etude de quelques propriétés biologiques du thé Matcha

(*Camelia sinensis*)

Présenté par:

-Gacem Nour elhouda

-zitouni hadjer

Jury d'évaluation :

Présidente :Dr Djebara soraya	Maitre de conférence A
Encadrant :Dr GhezielChahira Bakhta	Maitre de conférence B
Examinateur :Dr Dali Sarra	Maitre de conférence B

Année universitaire
2025 - 2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

À Dr GhezielChahira Bakhta,

Je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour tous les efforts que vous avez déployés au sein du département et pour la qualité de votre enseignement tout au long de notre parcours universitaire. Merci pour votre dévouement, votre disponibilité, votre patience et les précieuses connaissances que vous nous avez transmises.

Votre engagement et votre contribution à la formation des étudiants resteront une source d'inspiration et de reconnaissance.

Nous adressons également nos sincères remerciements à **l'ensemble des enseignants** du parcours Biochimie de la Nutrition de ***l'Université Ahmed Zabana de Relizane*** pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée.

Nos remerciements vont aussi aux **membres du laboratoire** de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie pour leur aide, leur accueil et leur collaboration.

Nous remercions également **les membres du jury** qui ont accepté d'évaluer ce travail et de contribuer à son enrichissement par leurs remarques et suggestions.

Dr Dali Sarra et Dr djebara soraya

Je vous adresse mes sincères remerciements pour votre dévouement, votre patience et la qualité de votre enseignement tout au long de notre parcours universitaire. Merci pour les connaissances que vous nous avez transmises, ainsi que pour vos précieux conseils et votre accompagnement.

Avec tout mon respect et ma gratitude.

Dédicace

Avant toutes choses, je remercie ALLAH, le tout puissant, pour m'avoir donné la force et la patience pour réaliser ce travail.

Je dédie ce mémoire aux êtres les plus chers de ma vie, mes parents pour leurs encouragements, leur soutien inconditionnel et leurs sacrifices consentis tout au long de ma scolarité afin de faire moi ce que je suis aujourd'hui.
Papa, Maman :
Quoi que je dise je ne saurai point les remercier comme il se doit.

À moi-même, pour avoir cru en mes rêves et ne jamais avoir abandonné

À ma chère soeurnesrrine
À mes chèrs frères Abdennour etayoube
À toute la famille surtout mon mari Hakim
À toutes mes sœurs Souad ; Racha ; rahafe ; soujoude
À ma chère amie et binôme ,Nour elhouda

À tous ceux qui me sont chers
À tous ceux qui m'aiment
À tous ceux que j'aime.

Hadjer 🤎

Dédicace

Avec une profonde gratitude et une immense reconnaissance, je dédie ce modeste travail :

À mon très cher père, Mohamed,

Pour son soutien indéfectible, sa confiance, ses conseils précieux et tous les efforts qu'il a consentis afin de me permettre d'atteindre mes objectifs. Puisse ce travail être une source de fierté et l'expression de mon profond respect.

À ma très chère mère, Nadia,

Source inépuisable d'amour, de tendresse et de dévouement. Merci pour tes sacrifices, tes encouragements et tes prières qui m'ont accompagnée à chaque étape de mon parcours. Que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection éternelle.

À ma sœur Chourouk et à mon frère Abdelmalek,

Pour leur présence, leur soutien moral et leurs encouragements constants. Merci d'avoir partagé avec moi les moments de joie comme les moments de doute.

À ma chère amie et binôme, Hadjer,

Avec qui j'ai eu le plaisir de partager cette expérience académique. Merci pour ton esprit de collaboration, ta patience et les efforts que nous avons fournis ensemble pour mener ce travail à son terme.

À toute ma famille proche,

Pour leur affection, leur soutien et leurs encouragements qui ont contribué à ma réussite.

Houda

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier les propriétés antioxydantes du Matcha en mettant en évidence sa richesse en composés bioactifs, particulièrement les polyphénols et les catéchines. L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée à l'aide du test DPPH, largement utilisé pour mesurer le pouvoir piégeur des radicaux libres.

Le Matcha a présenté une teneur élevée en polyphénols totaux de 85,4 mg EAG/g d'extrait ainsi qu'une forte activité antioxydante évaluée par le test DPPH avec une valeur d'IC_{50} de 18,7 µg/mL.

Les résultats obtenus montrent que le Matcha possède une activité antioxydante importante, liée à sa forte teneur en composés phénoliques. Ces composés contribuent à neutraliser les radicaux libres et à limiter les dommages oxydatifs au niveau des biomolécules telles que l'ADN, les protéines et les lipides.

Ainsi, le Matcha apparaît comme une source naturelle prometteuse d'antioxydants pouvant participer à la prévention du stress oxydatif et de ses effets néfastes sur la santé.

Mots-clés : **Matcha, stress oxydatif, antioxydants, polyphénols, catéchines, DPPH, radicaux libres.**

Abstrat

The aim of this work was to investigate the antioxidant properties of Matcha and to highlight its richness in bioactive compounds, especially polyphenols and catechins. Antioxidant activity was evaluated using the DPPH assay, a widely used method for measuring free radical scavenging capacity.

Matcha exhibited a high total polyphenol content of 85.4 mg GAE/g of extract as well as strong antioxidant activity as assessed by the DPPH test with an IC_{50} value of 18.7 µg/mL.

The obtained results indicate that Matcha exhibits significant antioxidant activity due to its high content of phenolic compounds. These compounds help neutralize free radicals and reduce oxidative damage to biomolecules such as DNA, proteins, and lipids.

Therefore, Matcha can be considered a promising natural source of antioxidants that may contribute to the prevention of oxidative stress and its harmful effects on health.

Keywords: Matcha, oxidative stress, antioxidants, polyphenols, catechins, DPPH, free radicals.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة الخصائص المضادة للأكسدة لشاي الماتشا وإبراز غناه بالمركبات الحيوية الفعالة، خاصة البوليفينولات والكاتيشينات. وقد تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستعمال اختبار DPPH المعروف بقدرته على قياس فعالية اصطياد الجذور الحرة

أظهر الماتشا محتوى عاليًا من البوليفينول الكلي يبلغ 85.4 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غرام من المستخلص بالإضافة إلى نشاط مضاد للأكسدة قوي تم تقييمه بواسطة اختبار DPPH بقيمة IC_{50} تبلغ 18.7 ميكروغرام/مل.

أظهرت النتائج أن الماتشا يتمتع بنشاط مضاد للأكسدة مرتفع، ويرجع ذلك إلى محتواه الغني بالمركبات الفينولية. وتساهم هذه المركبات في معادلة الجذور الحرة والحد من الأضرار التأكسدية التي تصيب الجزيئات الحيوية مثل الحمض النووي والبروتينات والدهون.

وبناءً على ذلك، يُعد شاي الماتشا مصدرًا طبيعيًا واعدًا لمضادات الأكسدة، وقد يساهم في الوقاية من الإجهاد التأكسدي وآثاره السلبية على الصحة

الكلمات المفتاحية: **الماتشا، الإجهاد التأكسدي، مضادات الأكسدة، البوليفينولات، الكاتيشينات الجدور الحرة dpph**

Liste des abréviations

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ATP : Adénosine Triphosphate

CAT : Catalase

DPPH : 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyle

EGCG :Épigallocatéchine Gallate

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène

GPx : Glutathion Peroxydase

H_2O_2 : Peroxyde d'Hydrogène

HO• : Radical Hydroxyle

LDL : Lipoprotéines de Faible Densité

mM : Millimolaire

nM : Nanomolaire

Nrf2 : Nuclear Factor Erythroid 2-Related Factor 2

NOS : Nitric Oxide Synthase

O_2 :Oxygène Moléculaire

$O_2^{\bullet -}$: Radical Superoxyde

OH^- : Ion Hydroxyde

ROO• : Radical Peroxyle

UV : Rayonnements Ultraviolets

Zn : Zinc

% : Pourcentage

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification du Camellia sinensis……..….7
Tableau 2 : Description botanique du thé vert……..…8
Tableau 3: Les vitamines présents dans le de thé matcha et leur teneur……14
Tableau 4: Composition du thé Matcha…….38
Tableau 5:Résultats des paramètre physico-chimiques de l'extrait ethanolique du matcha…….34
Tableau 6: Teneur en composés phénolique au niveau de l'extrait éthanolique du thé Matcha……46
Tableau 7: Teneur en flavonoïdes au niveau de l'extrait éthanolique du thé Matcha……...…49

Liste des figures

Figure 01 : Les différents types de thé…… 20
Figure 02 : Les différentes parties de la plante Camellia sinensis qui sont consommables (A) : plante entiére, (B) : Fleurs blanches, (C)…….. 23
Figure 03 : Répartition du thé vert dans différents pays (A) Par zone (B) Par production…… 23
Figure 04 : Processus de fermentation des différents types de thés…… 25
Figure 05 : Caféine……..27
Figure 06 : Théophylline……..27
Figure 07 : Théobromine……..27
Figure 08 : Propriétés bénéfiques pour la santé des principaux composés bioactifs du thé vert 30
Figure 09 : Quelque structure d'alcaloïdes…… 32
Figure 10 : La structure de base des terpènes (isoprène)…….. 33
Figure 11 : Structure de stigmastérol (1) et le sitostérol (2)……33
Figure 12 : Structures des saponines. (a) Ginsenoside, (b) Diosgenin, (c) Gymnemagenin……34
Figure 13 : L'incidence de la Stress oxydatif dans la cellule…… 35
Figure 14 : Production des radicaux libres…….. 36
Figure 15 : L'Origine des radicaux libres…….37
Figure 16 : Lésions de l'ADN formées par attaque radicalaire du patrimoine génétique des cellules……38
Figure 17 : Nature de quelques modifications des chaines d'acides aminée des protéines après attaque radicalaire……..39
Figure 18 : Réactions de la peroxydation lipidique…… 40
Figure19 : Structure des tocophérols…… 44
Figure 20 : le thé matcha utilisé dans notre etude……... 48
Figure 21 : Les étapes de léxtraction…….. 49
Figure 22 : préparation de l'extrait…….. 50
Figure 23 : Acide gallique ……51
Figure 24 : laQuercetine……...51
Figure 25 : Courbe d'étalonnage acide gallique…….. 56
Figure 26 : Courbe d'étalonnage de la Quércétine…….. 58
Figure 27 : Activité de piégeage du radical DPPH par l'acide ascorbique de reference……..59

SOMMAIRE

Introduction…… 1

Chapitre I : Le thé Matcha

1. Présentation de Camellia sinensis…….. 5

1.1. Historiqu...…….5

1.2. Définition ……..…….5

1.3. Description botanique ……...6

1.4. Processus de fabrication ……...9

2. Le thé Matcha…… 11

2.1. Historique ……...11

2.2. Processus de fabrication du thé Matcha dans le monde …….11

2.3. Les constituants chimiques du thé Matcha ……12

2.3.1. Les polyphenols ……...13

2.3.2. Les bases puriques ……...13

2.3.3. Les vitamins ……14

2.3.4. Les composésminéraux ……...14

2.3.5. Les acidesaminés ……14

2.3.6. Les glucides ……15

2.3.7. Les lipids ……15

2.3.8. Les caroténoïdes ……..15

2.4. Intérêt et bienfaits du thé Matcha sur la santé ……16

Chapitre II : Les métabolites secondaires, notion de stress oxydatif et activité

Antioxydante ……18

1. Les métabolitessecondaires ……...19

1.1. Définition ……19

1.2. Les composésphénoliques ……..19

1.3. Les alcaloïdes ……19

1.4. Les terpènes ……20

1.5. Les stéroïdes et les stérols ……..20

1.6. Les saponines ……..….21

2. Le stress oxydatif ……..……..21

2.1. Définition ……22

2.2. Origines du stress oxydatif ……22

2.2.1. Origine des radicauxlibres ……...23

2.2.2. Rôle biologique des radicaux libres ……24

2.3. Effets du stress oxydatif sur l'organisme ……26

2.3.1. Oxydation de l'ADN ……...26

2.3.2. Oxydation des protéines ……..26

2.3.3. Peroxydation des lipides ……..27

3. Antioxydants et activité antioxydante ……...28

3.1. Définition ……28

3.2. Classification des antioxydants ……..28

3.2.1. Selon leur mécanisme d'action ……28

3.2.2. Selon leur nature chimique ……..29

3.3. Les effets des antioxydants sur la santé ……..33

Matériel et methods

1. Matériel vegetal ……37

2. Préparation de l'extraitvegetal ……...37

2.1. Calcul du rendement ……...39

3. Analyse quantitative des composés phénolique. ……...39

3.1. Dosage des composés phénoliques totaux ……..39

3.1.1. Principe ……39

3.1.2. Protocole ……..40

3.2. Dosage des flavonoids totaux ……40

3.2.1. Principe ……40

3.2.2. Protocole ……..41

4. Évaluation des activités biologiques ……41

4.1. Évaluation de l'activité antioxydante ……41

4.1.1. Test de réduction du radical DPPH ……..41

4.1.2. Principe ……41

1. Évaluation des paramètres physico-chimiques de l'extrait éthanolique du thé Matcha ……44

2. Analyse quantitative…….. 45

2.1. Dosage des composés phénoliques totaux ……..45

2.2. Dosage des flavonoids totaux …….48

2.3. Étude de l'activité antioxydante …….49

2.3.1. Méthode de DPPH……... 49

Conclusion …….52

Références bibliographiques …….53

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis des milliers d'années, l'homme utilise diverses plantes trouvées dans son environnement, afin de traiter et soigner toutes sortes de maladies. Parmi cesplantes, il existe les plantes aromatiques qui représentent un réservoir immense de composés potentiels attribués aux métabolites secondaires qui ont l'avantage d'être d'une grande diversité au niveau de leur structure chimique, ce qui leur conférent un large éventail d'activités biologiques. **(Alessandra.,2008) .**

Ainsi, ce type de plantes font l'objet d'études scientifiques rigoureuses pourleur éventuelle utilisation comme alternative aux traitements médicamenteux. De ce fait le théier (*Camellia sinensis*) est de plus en plus exploré pour ces divers composés bioactifs. Le thé se classe comme la deuxième boisson la plus consommée après l'eau à l'échellemondiale. Peu calorique, il se décline en différentes couleurs, chacune correspondant à un type dethéspécifique.**(Alessandra.,2008).**

Bien que cette plante ne soit pas endémique en Algérie, elle est largement consommée et étudiée à l'échelle internationale.Ainsi, le thé vert (*Camellia sinensis*L.) est l'une des plantes les plus populaires dans l'alimentation humaine principalement en raison de ses bienfaits pour la santé **(Alessandra.,2008) .**

La consommation de thé vert est associée à une réduction de la glycémie et du taux de cholestérol total, et elle joue un rôle important en tant que facteur de réduction du stress.Au-delà, cette plante suscite un intérêt croissant en raison de sa richesse en composésphytochimiques, notamment les polyphénols, qui confèrent à cette boisson des propriétés antioxydantes.**(Lakehal et *al*.,2016)**.

Contrairement au thé vert traditionnel, lethé matcha est un thé finement moulu et non fermenté. La poudre est fabriquée à partir de jeunes pousses de buissons de thé qui ont été ombragées pendant quelques semaines. Après la récolte, les jeunes pousses sont transformées en poudre verte par une série d'étapes de traitement incluant la cuisson à la vapeur, le séchage, l'élimination des tiges, des nervures principales et des veines, puis le broyage fin à la pierre.**(Bremer et *al*.,1994. ;Alessandra.,2008. ;Harkati.,2011) .**

Ainsi, comparé aux autres types de thé, le thé matcha est consommé sous une forme incluant toutes les parties de la feuille. Ce processus de fabrication permet au consommateur d'assimiler l'intégralité des nutriments présents dans le thé matcha. Parmi cette richesse nutritionnelle, ce sontses propriétés anti-oxydantes exceptionnelles, notamment sa concentration en polyphénols et en vitamines. **(Funk et *al*.,2009).**

Bien qu'il y ait eu des études sur la composition du thé matcha liées aux méthodes de mouture et aux contenus en flavonoïdes**(Guignard J.,1994. ;Teuscher et al.,2005. ; Barkley et *al* .,2006),** les données concernant sa capacité antioxydante restent limitées.

INTRODUCTION

D'autre part, le monde scientifique est envahi par un nouveau concept, celui du « *stress oxydant* », une situation où la cellule ne contrôle plus la quantité de radicaux libres qu'elleproduit, entraînant ainsi des réponses inflammatoires liées à différentes pathologiesnotamment les maladies cardiovasculaires ,neurodégénératives et le cancer **(Pincemail et *al*., 2002).** Pour cela les métabolites secondaires de ces plantes suscitent de plus en plus l'intérêt des chercheurs, et sont largement utilisées comme agents préventifs anti-inflammatoires, antimicrobiens, antiseptiques,antioxydants, diurétiques qui défendent contre le stress oxydatif.

De ce fait, l'alimentation joue un rôle clé dans l'apport en antioxydantsexogènes qui vont soutenir l'effet des antioxydants endogènes. Parmi les antioxydantsapportéspar les végétaux, on y retrouve notamment les polyphénols (acides phénoliques, flavonoïdes,lignanes, tannins, stilbènes), les vitamines (vitamine A, vitamine C, vitamine E) ainsi que lesoligoéléments (cuivre, manganèse, zinc). Ainsi, le thé matcha est considéré, actuellement, comme un nouvel ingrédient alimentaire bénéfique pour la santé de l'homme et prometteur pour une application dans l'industrie des aliments fonctionnels **(Guignard J.,1994. ;Alessandra.,2008. ;Harkati.,2011)** et celaen raison de sa composition singulière qui lui confère de puissantes propriétés anti-oxydantes.

Dans ce contexte, s'inscrit le présent travail de fin d'étude, dont le but principal est d'évaluer les composés phénoliques et d'évaluer l'activité antioxydante du thé matcha.

Notre travail est scindé comme suit :

La première partie est consacrée pour les données bibliographiques qui contient deux principaux chapitresdont :

- Le premier chapitre englobe les généralités sur le thé vert (aspect botanique,composition chimique et intérêts sur la santé...).
- Le deuxième chapitre résume des notions sur le stress oxydatif et l'activité antioxydante.
- La deuxième partie concerne la partie expérimentale qui comporte les points suivants :
- Le matériel végétal traité.
- -Préparation de l'extrait.
- Etude qualitative ou détection des composés phénoliques totaux, flavonoïdes
- Etude de l'activité antioxydant par la méthode DPPH.

Ces parties seront ensuite suivi d'une partie intitulée résultats et discussions et d'une conclusion finale.

CHAPITREI :

LE THÉ MATCHA

1. Presentation de *Camellia sinensis:*

1.1. Historique:

Le théier (***Camelliasinensis***) est originaire d'Asie, comme de nombreuses autres plantes, découverte par le premier empereur chinois Qin (220-210avant J.C), fasciné par les élixirs de vie éternelle. Cependant, les premiers documents attestant de l'utilisation du thé sous forme de potions médicinales, de boissons ou d'aliments ne remontent qu'au IVèmesiècle avant notre ère. Sous la dynastie Tang (618-904 après J.C.), les Chinois commencèrent à boire suffisamment de thé pour assurer la célébrité d'un ouvrage lui étant consacré le "ChaChing" ou "Livre du thé" écrit par Lu Yu, un célèbre philosophe de cette période. C'est lui qui a, en quelque sorte, instauré le culte du thé, décrivant comment le cultiver, le produire et l'apprécier. C'est sous la dynastie Song (960-1280après J.C.) que les raffinements de la culture du thé s'épanouirent à la fois en Chine et au Japon. La vogue était alors au thé en poudre et à la porcelaine délicate, et les premières maisons de thé firent leur apparition **(Pastore ; Fratellone.,2021)**

Aujourd'hui, le thé est apprécié dans le monde entier pour sa saveur délicate, ses propriétés antioxydants et ses nombreux bienfaits pour la santé**(Chassagne.,Rinzler.,2022)**

1.2. Définition:

Le ***(Camelliasinensis)***est une espèce d'arbuste ou de petit arbre à feuilles persistantes appartenant à la famille des Théacées. Ses feuilles, ses bourgeons et ses tiges servent à la production de thé. Toutefois, il est essentiel de ne pas confondre cette espèce avec(***Melaleucaalternifolia)***, source de l'huile essentielle d'arbre à thé, ni avec le genre (***Leptospermum)***, communément appelé arbre à thé**.(Golender . ,10 August 2003)**

Le genre (***Camellia)***, appartenant à la famille des Théacées, comprend plus de 200 espèces. Ces plantes sont principalement connues pour leurs produits commerciaux, notamment les feuilles de thé, les fleurs ornementales et les huiles comestibles de haute qualité **(Yang et *al.*, 2013 ; Wu et *al.*, 2022 ; Cheng et *al.*, 2022).**

Selon le processus de traitement utilisé, il est classé comme thé blanc, thé jaune, thé vert, le thé oolong, le thé sombre et le thé noir**(**Figure 1**)**. Ces différents théssont tous issus de deux des cinq variétés qui constituent les principales cultures actuelles : *C. sinensis var. sinensis* et *C. sinensis var. assamica.***(Huang et *al*.,2013)**

Le kukicha (thé de brindilles) est également fabriqué à partir de *C. sinensis*, mais utilise les brindilles et les tiges plutôt que les feuilles.**(Huang et *al*., 2013)**

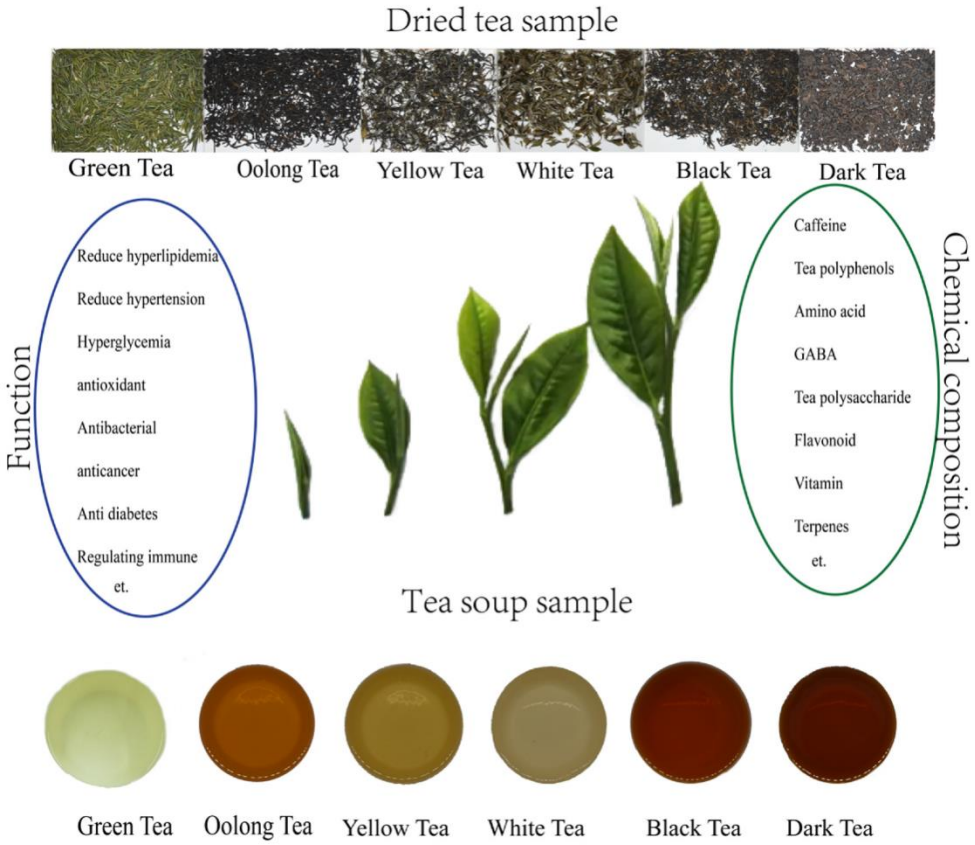


Figure 1 : Les différents types de thé **(Wang et *al.*,2022)**

Le théier (*Camellia sinensis*) occupe une place particulièrement importante en raison de son utilisation intensive dans la production de thé. Ainsi, cette boisson largement consommée dans le monde entier pour ses saveurs uniques et ses bienfaits pour la santé, contribue de manière significative à l'économie agricole et aux pratiques culturelles de nombreuses régions **(Wei et *al*., 2018;Cheng et *al.*, 2022).**

Par ailleurs, les espèces ornementales du genre *Camellia*, telles que *Camellia japonica* et *Camellia sasanqua*, sont très appréciées en horticulture pour leurs magnifiques fleurs. **(Yang et *al*., 2013 ; Li et *al*., 2019).**

1.3. Description botanique:

Il existe deux variétés de *Camellia sinensis* : le théier chinois (*C. sinensis var. sinensis*) et le théier indien (*C. sinensis var. assamica*) **(world flora online., 2024)**

Bien que la variété Assam soit quantitativement et qualitativement plus performante, sa teneur plus élevée en composés phénoliques lui confère une amertume plus prononcée et limite sa transformation en thé vert. C'est pourquoi le thé vert est généralement obtenu à partir de la variété chinoise de *sinensis***(Shofi et betari. 2023)**

Ainsi, le thé vert est un produit issu de la transformation de *Camellia sinensis*. Son nom scientifique est *Camellia sinensis (L.) Kuntze***.**Cet arbuste, appartenant à la famille des Théacées**(Prasanth et Sivamaruthi ., 2019).** IlPossède des feuilles vert foncé, brillantes, rondes et opposées. Ses grandes fleurs présentent des couleurs variées, notamment le blanc, le rose et le rouge ; ses fruits sont petits et bruns. Bien que la récolte puisse avoir lieu toute l'année, le meilleur thé est récolté au printemps, car il est alors plus délicat et aromatique. La classification de *Camellia sinensis*au niveau du règne végétale est mentionnée dans le **tableau 01.**

Tableau 1 : Classification du *Camellia sinensis***.**

Règne	*Plantae*
Division	*Magnoliophyta*
Classe	*Dicotylédones ou Magnoliopsida*
Ordre	*Theales*
Famille	*Theaceae*
Genre	*Camellia*
Espèce	*Camellia sinensis*

Ainsi comme cité précédemment, du point de vue botanique, les deux principales variétés de *Camellia sinensis (L.) Kuntze*, à savoir *Camellia sinensis var. sinensis* (Théier de Chine) et *Camellia sinensis var. assamica* (Théier d'Assam), présentent des caractéristiques morphologiques bien distinctes.**(rawal et *al* .,2021)**

Le théier de Chine (*var. sinensis*) est un arbuste à petites feuilles, tandis que le théier d'Assam (*var. assam*) est un arbre de grande taille aux feuilles larges. Le théier de Chine est plus aromatique et plus résistant aux maladies. Il est également mieux adapté aux basses températures, contrairement au théier d'Assam qui y est moins résistant**. (Borthakur et *al.*2023)**

Les descriptions taxonomiques avec les caractères significatifs des plants du thé vert sont décrites dans le tableau 1 tandis que leurs différentes parties sont représentées dans la **figure 2.**

Tableau 2 : Description botanique du thé vert**(Singh et *al* ., 2024)**

Nom botanique	*Camilla sinensis (L.) Kuntze*
Nom commun	Thé vert
Famille	Theaceae
Type de plante	Arbuste à feuilles persistantes
Taille	3 à 7 pieds de hauteur (à maturité)
Type de sol	Bien drainé, sableux
pH du sol	5.5-6.5
Exposition au soleil	Mi-ombre
Temps de floraison	Octobre à Décembre
Couleur des fleurs	Blanche
Toxicité	Aucune pour l'animal ou l'homme
Région	Chine

Bien que le thé vert soit originaire de Chine, il s'est ensuite répandu dans d'autres pays asiatiques voisins**.** Il est principalement cultivé en Chine, en Inde, au Sri Lanka et au Kenya. La Chine est le premier pays producteur et cultivateur, représentant respectivement 35 % et 40 % des plantations et de la production mondiales totale, suivie par de nombreux autres pays **(Figure 3)**. La consommation mondiale de thé vert représente 15 % ,Environ 2,5 millions de tonnes de thé sec sont produites chaque année**.** Le thé vert représente environ un quart des ventes mondiales annuelles, soit plus de 43 milliards de dollars **.**

Ainsi, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) prévoyait que la production mondiale de thé vert atteindrait 3,6 millions de tonnes en 2027, soit une augmentation annuelle de 7,5 %. La production de thé vert devrait plus que doubler, passant de 1,5 million de tonnes en 2015-2017 à 3,3 millions de tonnes en 2027**.**



A B C

Figure2 : Les différentes parties de la plante Camellia sinensis qui sont consommables (A) : plante entiére, (B) : Fleurs blanches, (C) : Infusion **(Singh et *al* ., 2024).**

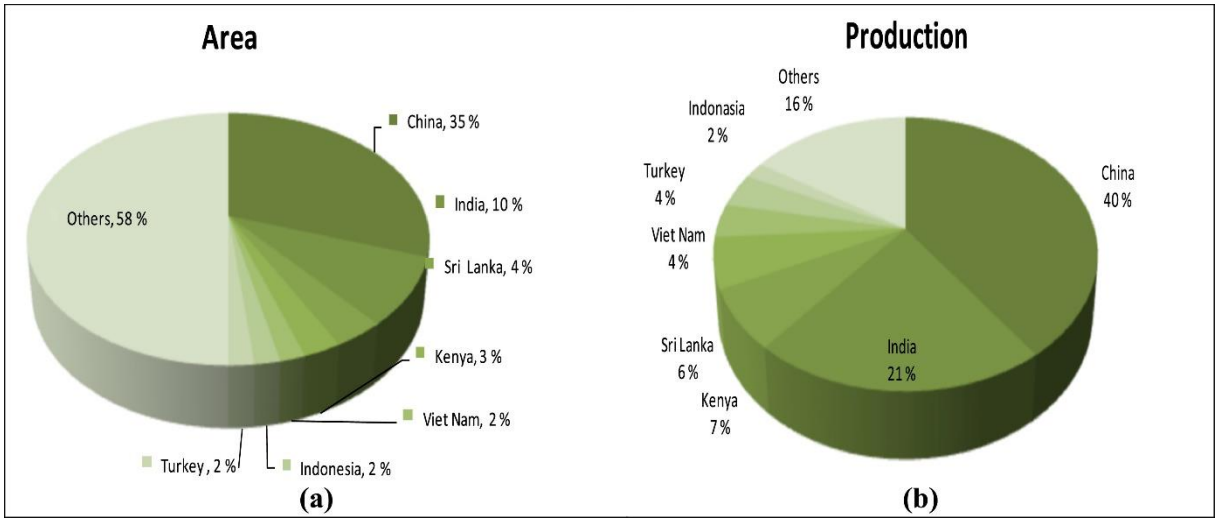


Figure 3 : Répartition du thé vert dans différents pays (A) Par zone (B) Par production**(Zhang et *al.*2019)**

1.4. Processus de fabrication :

La transformation du thé vert s'effectue selon deux méthodes différentes : la méthode chinoise et la méthode japonaise. La méthode chinoise consiste à torréfier le thé vert, tandis que la méthode japonaise consiste à le cuire à la vapeur.**(shi et *al.*,2022)**

Les différentes parties du *Camellia sinensis*(tiges, jeunes feuilles et feuilles matures) servent de matières premières pour l'élaboration de différents types de thé : noir, vert, blanc et oolong. **(Albassam ; Markowitz.,2017).**Ces variétés de théprésentent des degrés d'oxydation différents en raison de leurs procédés de transformation respectifs. Parmi elles, le thé vert est le plus riche en catéchines car il n'est pas oxydé (non fermenté) . **(Albassam ; Markowitz.,2017).**

Par ailleurs, la plante *Camellia sinensis* a besoin de conditions climatiques et de sols spécifiques pour croître , ou le théier prospère dans des climats chauds et humides, avec des précipitations abondanteset une température optimale de 18 à 24°C. Sensible au gel et à la sécheresse, il nécessitedes conditions météorologiques spécifiques pour sa croissance optimale**.**

Ainsi la fabrication du thé vert se déroule en 5 étapes principales :

- **La cueillette :** Les thés verts sont fabriqués à partir de jeunes pousses.En Effet, selon le grade désiré, les cueilleuses doivent sélectionner le bourgeon accompagné, deux ou trois jeunes feuilles **(Nacer et Bouras.,2014).**
- **Le Flétrissage :** Dure entre 16 et 32 h suivant le procédé utilisé, les feuilles sont exposées à de l'air chauffé (< 35 °C) afin de les déshydrater pour les rendre plus souples et permettre de les rouler sans les briser .La teneur en eau des feuilles est réduite de 50% environ. Le but du Flétrissage est de réduire le plus rapidement la teneur en eau des feuilles afin de limiter les phénomènes d'oxydation **(Nacer et Bouras.,2014)**
- **La torréfaction :** Cette étape, est sans doute la plus importante dans le processus de fabrication d'un thé vert. Elle va décider de la couleur, de l'odeur et du gout du thé vert(Nacer et Bouras, 2014(. Elle consiste à chauffer les feuilles quelques minutes à 100°C en atmosphère humide pour inhiber les enzymes responsables de l'oxydation Cette phase dure entre 30s et 5min pour les thés verts et Oolong et entre 15 et 20 min pour les thés noirs **(Delmaset Minet.,2007).**
- **Le roulage :** dans le cas des thés verts et Oolong, a pour but de donner une forme de bâtonnet aux feuilles. Dans le cas des thés noirs, les feuilles sont roulées afin de rompre la paroi cellulaire et permettre la libération des enzymes polyphénol oxydases et peroxydases qui vont oxyder les poly phénols
- **Le séchage :** est l'ultime étape de la fabrication d'un thé vert. il va assurer une parfaite conservation du thé et développer de nombreux composés aromatiques nouveaux **(Nacer et Bouras.,2014).**
- **L'étape de dessiccation** consiste à sécher les feuilles avec de l'air chaud pendant 2à 3 min avec alternance de périodes de 30 min de repos atteindre 5 à 6 % d'eau.

Concernant les thés noirs, la dessiccation consiste à stopper l'oxydation puis à ajuster lateneur en eau des feuilles à une valeur inférieur à 5 % **(Laurens et coll.,1998).**

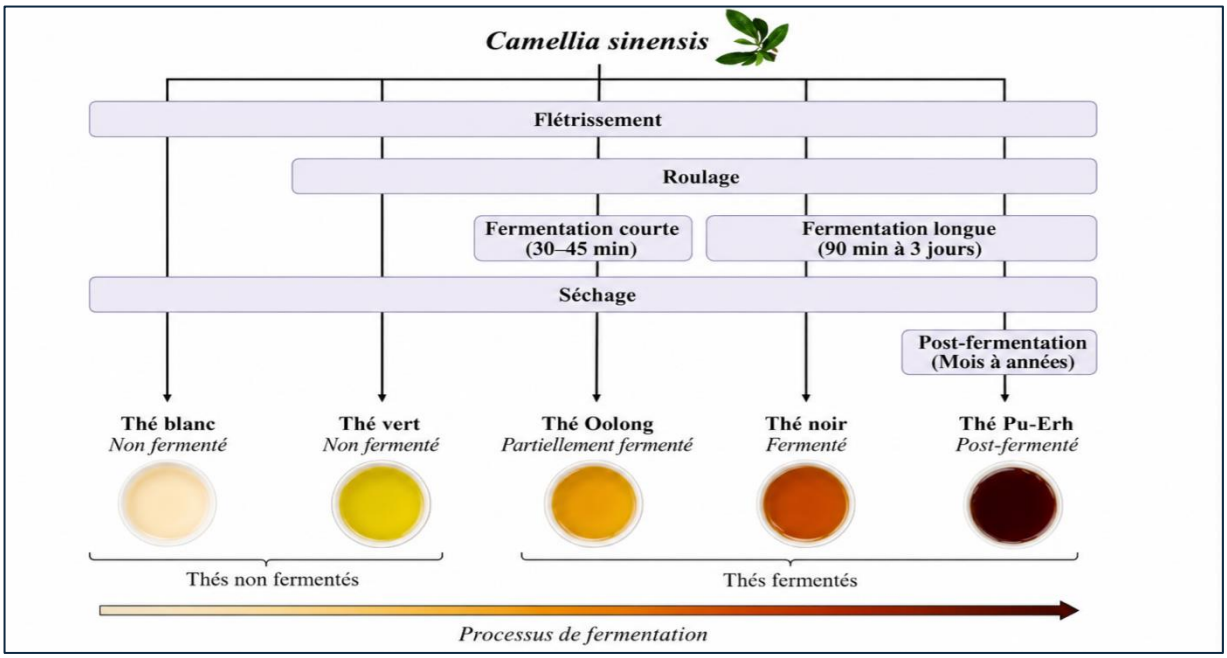


Figure4 : Processus de fermentation des différents types de thés**(fao 2017)**

2. Le Thé Matcha :

2.1. Historique :

Ainsi , la préparation du thé Matcha, originaire de chine, par la méthode de broyage des feuilles de thé en poudre a vu le jour sous la dynastie Song (960–1279). Cependant, c'est au Japon que cette tradition s'est véritablement enracinée à partir du XIIe siècle, notamment grâce au moine bouddhiste Eisai, qui introduisit le thé en poudre dans le cadre des rituels zen. Le Matcha est ainsi devenu le pilier de la cérémonie du thé japonaise (*Chanoyu*), associée à la méditation et à la pleine conscience **(Chatterjee et *al*., 2020).**

2.2. Processus de fabrication du thé Matcha dans le monde :

Le thé Matcha est obtenu en réduisant en poudre à l'aide d'une meule en pierre un thé appelé tencha, qui n'est pour sa part presque jamais consommé en tant que tel. Il est, comme le gyokuro, issu de culture couverte**. (Wang et *al*., 2021).**

Le Matcha est produit à partir de feuilles de *Camellia sinensis* cultivées à l'ombre pendant les 20 à 30 derniers jours avant la récolte. Cette méthode, appelée ooishita, favorise une teneur élevée en chlorophylle, en L-théanine et en catéchines. Après la récolte, les feuilles sont rapidement cuites à la vapeur, séchées, puis broyées lentement à la meule de pierre pour obtenir une poudre fine.

Contrairement à d'autres thés, les feuilles ne sont ni roulées ni fermentées, ce qui préserve leur profil antioxydant **(Wang et *al*., 2021)**.

Aujourd'hui, la consommation de Matcha s'est mondialisée, allant au-delà de la boisson traditionnelle pour intégrer des produits alimentaires (glaces, pâtisseries), des compléments alimentaires et

des cosmétiques en raison de ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et énergisantes **(Zhao et *al*., 2023).**

2.3. Les constituants chimiques du thé Matcha :

Les bienfaits du thé vert pour la santé proviennent de la présence d'antioxydants naturels, tels que les polyphénols : une grande variété de composés représentant jusqu'à 30 % du poids sec du thé vert.**(Sano et *al* .,2018)**

Les bienfaits du thé vert pour la santé proviennent de la présence d'antioxydants naturels, tels que les polyphénols : une grande variété de composés représentant jusqu'à 30 % du poids sec du thé vert.**(Kochman et *al*., 2020).**

Les polyphénols sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes exceptionnellement puissantes, comparables à celles des vitamines, comme les vitamines C et E, le carotène et le tocophérol.La quantité de substances actives bénéfiques pour la santé contenues dans les boissons à base de thé dépend du type de thé, de la quantité de feuilles par portion, de la température et de la durée d'infusion**. (Mandelet al., 2005 ; Kochetal., 2017).**

2.3.1Les polyphénols :

Les polyphénols sont des métabolites secondaires d'origine végétale caractérisés par la présence d'un ou plusieurs noyaux phénoliques. Ils jouent un rôle essentiel dans la protection des plantes contre le stress oxydatif et les agressions environnementales. Chez l'homme, ils sont reconnus pour leurs effetsantioxydants,anti-inflammatoiresetprotecteurs contre certaines maladies chroniques.Polyphénols présents dans le thé matcha**(Cabrera et *al*.,2024).**

Le matcha est particulièrement riche en catéchines:**(artacho.gimenez ;2016)** , qui représentent la fraction majoritaire des polyphénols du thé vert. Les principales catéchines identifiées sont

Épigallocatéchine gallate (EGCG) ; Épigallocatéchine (EGC) ; Épicatechine gallate (ECG) et l'Épicatechine (EC).Parmi elles, l'EGCG est la plus abondante et la plus biologiquement active. Elle représente jusqu'à 50–60 % des polyphénols totaux du matcha.

En plus des catéchines, le matcha contient :

- Des acides phénoliques (acide gallique, acide caféique).
- Desflavonols (quercétine, kaempférol).
- Des tanins contribuant à l'astringence.

2.3.2 Les bases puriques:

- **Les alcaloïdes:**

Les alcaloïdes sont des substances naturelles et organiques provenant essentiellement des plantes et qui contiennent au moins un atome d'azote dans leur structure chimique, avec un degré variable de caractère

basique. Les alcaloïdes sont généralement retrouvés dans les tissus périphériques des plantes, sous forme de sels solubles ou combinés à des tanins 5.3.2**.(Bruneton. ,1999)**.

- **La caféine**

La caféine, ou 1, 3,7-triméthylxanthine (figure 5), a été isolée la première fois en 1820 à partir de graines de café. **(Sugiyama et *al*.,2014).**

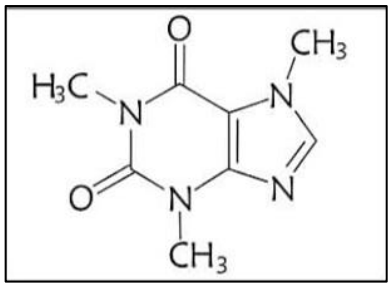


Figure 5 : Caféine **(Sugiyama et *al*.,2014)**

La caféine est la principale base xanthique retrouvée dans les feuilles de *Camellia sinensis.* Les teneurs en caféine calculées par rapport à la drogue desséchée, suite à une dessiccation à chaud des jeunes feuilles, varient selon les auteurs. On peut trouver des taux de 2,5% , de 2 à 4% ;de 2,5 à 5,5% ou de 1 à 5%. **(Bruneton. ,1999.;Sweetman.,2002.;Banerjee.,2005)**

- **La theophylline:**

La théophylline ou 1,3-diméthylxanthine (figure 6) n'est présente qu'en faible quantité dans les feuilles de théier. **(Banerjee. ,2005)**.

La teneur varie de 0.02 à 0.04 % par rapport au poids sec de la drogue. Or, cette faible quantité ne diminue guère l'importance pharmacologique de la théophylline. **(Gruenwald et *al*.,2007)**

La théobromine ou 3,7-diméthylxanthine **(figure 7)**, est retrouvée en faible quantité, légèrement supérieure à celle de théophylline. On a isolé des teneurs de 0.15 à 0.2 % [47] par rapport au poids sec. La théobromine possède essentiellement un effet diurétique; les effets stimulants et bronchodilatateurs sont mineurs**.(Cooper.,2012)**.

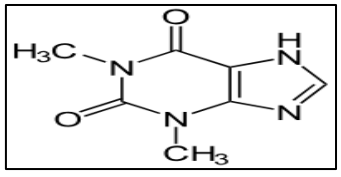


Figure 6:Théophylline**(Sugiyamaetal.,2014)**

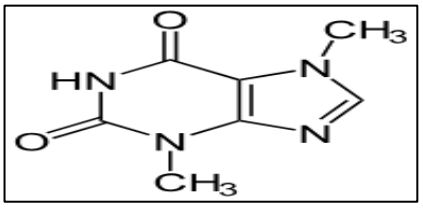


Figure 7 :Théobromine**(Dewick.,1997)**

2.3.3 Les vitamines :

La plante du thé Matcha, dont les feuilles sont toujours délicatement ombragées durant leur croissance, sont très finement moulues. Ainsi, l'intégralité des feuilles de ce thé sont consommées, ce qui

permet de bénéficier de tous les composants qui ne sont pas hydrosolubles. Le thé Matcha, en ce qui concerne les vitamines, est particulièrement riche en bêta-carotène, un précurseur de la vitamine A, et en vitamines B1, B2, B3 (Niacine), E et K (Tableau 3**). (Borgese et *al*.2010)**

Tableau 3 : Les vitamines présents dans le de thé matcha et leur teneur.**(Borgese et *al*.2010)**

Vitamine	Teneur
Vitamine A (Betacarotène)	300 mg / g
Vitamine A (Equivalent du Retinol)	25 mcg / g
Vitamine C	1,85 mg / g
Vitamine E	0,183 mg / g

2.3.4 Les composésminéraux:

La composition en minéraux varie considérablement avec chaque récolte et change même au cours du traitement. Comparé à d'autres plantes, le thé vert est riche en minéraux, plus de 40 éléments ont été isolés : manganèse, arsenic, aluminium, fer, nickel, sélénium, iode, potassium, fluor, etc. Le fluor connu aussi pour son action préventive contre la carie dentaire reste nocif absorbé en trop grande quantité. Il est à noter que ce dernier est stocké en plus grande quantité par les feuilles les plus âgées du théier, et se retrouve donc en plus grande concentration dans les cueillettes grossières qui composent les principaux thés en sachet ou bas de gamme du commerce **(Aatti.;2014)**

2.3.5 Les acides aminés :

Les acides aminés sont des précurseurs essentiels des aromatiques dans les feuilles de *Camélia sinensis* et jouent un rôle important dans la qualité aromatique des boissons du thé vert. La quantité totale d'acides aminés libres dans les fleurs de *Camélia sinensis* est de 8,09 mg/g, et est bien supérieure à celle des feuilles (0,12–0,70 %).Pendant ce temps, la composition des acides aminés libres dans les feuilles du théier est différente de celle des fleurs. Un total de douze acides aminés libres, dont l'alanine, l'asparagine, l'acide aspartique, l'acide glutamique, la glycine, l'histidine, la méthionine, la sérine, la théanine, la thréonine, le tryptophane et la tyrosine, se trouvent dans les fleurs de Camélia sinensis. La théanine est l'acide aminé libre le plus abondant dans ses fleurs (4,77 mg/g)**(Wang et al.,2017).**

2.3.6 Les glucides :

Les feuilles crues de *Cameliasinensis*contiennent de 4 à 7 % de glucides (en poids sec).Il est généralement admis que le thé vert soit composé de 4 à 10 % de polysaccharides, de 6 à 8 % de cellulose et de 3 à 5 % de glucides de faible masse moléculaire. Des monosaccharides tels que le D-arabinose, le D-galactose, le D-glucose, le L-rhamnose et le D-fructose, ainsi que des oligosaccharides comme le maltose, le saccharose, le raffinose, le lactose et le stachyose, sont présents en quantités notables dans le thé vert. De plus, les α-galacto-oligosaccharides, comme le raffinose et le stachyose, sont reconnus pour leurs propriétés

prébiotiques, et le myo-inositol contribue à la santé reproductive féminine**(Shevchuk;Megías-Pérezet *al*.2020)**

2.3.7. Les lipides :

Le thé matcha contient une quantité modérée de lipides, représentant environ 5 à 7 % de son poids sec. Bien que discret, ce profil lipidique est remarquable par sa richesse en acides gras polyinsaturés, notamment en oméga-3, qui sont essentiels pour la santé cardiovasculaire. La Composition lipidique détaillée (pour 100 g de poudre) :Teneur totale : Entre 5 g et 7,3 g selon la qualité et l'origine du thé.Acides gras insaturés (~83 % des graisses) : Ils prédominent largement, offrant des propriétés anti-inflammatoires.Oméga-3 (Acide alpha-linolénique – ALA) : C'est le composant majeur, représentant environ 65 % des acides gras totaux (soit env. 4,8 g/100 g). Le matcha est ainsi l'un des rares produits végétaux très riches en oméga-3.Oméga-6 (Acide linoléique) : Environ 12,6 % des graisses.Oméga-9 (Acide oléique) : Environ 4,6 % des graisses.Acides gras saturés (~17 % des graisses) : Environ 0,7 g à 1,3 g, principalement sous forme d'acide palmitique.Impact sur le métabolisme des graissesAu-delà de sa propre teneur en lipides, le matcha est surtout connu pour son action sur les graisses corporelles**.(Joanna et *al*.2024)**

2.3.8. Les caroténoïdes :

Outre la chlorophylle, les caroténoïdes sont des pigments photosynthétiques qui peuvent également servir de signaux photosensibles chez les plantes, leur permettant d'absorber la majeure partie de la lumière visible . Précurseurs des terpènes, composés aromatiques, ils se dégradent en composés aromatiques floraux par des réactions enzymatiques ou non enzymatiques, notamment lors de la fabrication du thé .**(Li et *al*.,2010)**

Il a été observé une augmentation de la teneur en caroténoïdes dans les feuilles de théiers jaunâtres par rapport aux feuilles violacées et vertes, contribuant ainsi à la coloration des feuilles. La néo xanthine, la viola xanthine, la phytoxanthine et le β-carotène, présents dans les feuilles de thé, absorbent l'énergie lumineuse nécessaire à la photosynthèse et protègent la chlorophylle des dommages causés par la lumière. **(Frankli ;Whitelam .,2015)**

2.4. Intérêt et bienfaits santé du thé matcha :

Le thé vert, en particulier sous forme de Matcha, a suscité un intérêt croissant en raison de sa richesse en composés bioactifs et de ses multiples effets bénéfiques sur la santé. Ces propriétés sont principalement attribuées à sa teneur élevée en polyphénols, en acides aminés, en vitamines et en pigments naturels.

Plusieurs études ont démontré que les catéchines du thé vert, notamment l'épigallocatéchine gallate (EGCG), exercent un effet protecteur contre les lésions hépatiques induites par des toxines, des

médicaments ou un régime alimentaire déséquilibré. Ce mécanisme repose sur leur capacité à inhiber le stress oxydatif, à réguler l'expression des enzymes de détoxification (comme les cytochromes P450) et à moduler les voies de l'apoptose hépatocytaire**(Tang et *al*., 2022).**

Par ailleurs, la consommation régulière de thé vert a montré une amélioration des profils hépatiques (ALAT, ASAT) et une réduction des dépôts lipidiques dans le foie dans des modèles animaux atteints de stéatose hépatique non alcoolique (NAFLD) **(Zhou et *al*., 2021).**

Le thé vert est reconnu comme l'une des sources naturelles les plus puissantes d'antioxydants. Les catéchines, en particulier l'EGCG, peuvent neutraliser directement les radicaux libres (comme DPPH, superoxyde et peroxyde) et stimuler les défenses endogènes via l'activation du facteur NRF2, un régulateur clé des enzymes antioxydantes**(Gao et *al.*, 2023).**

Des études *in vitro* et *in vivo* ont confirmé que l'extrait de Matcha possède une activité scavenger dose-dépendante, souvent comparable ou supérieure à celle de l'acide ascorbique. Il permet de réduire le stress oxydatif cellulaire, prévenant ainsi l'apparition de maladies chroniques comme les cancers, les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives **(Li et *al.*, 2020).**

Un résumé des propriétés bénéfiques pour la santé des principaux composés bioactifs du thé vert matcha est présenté dans la **(figure 8).**

.

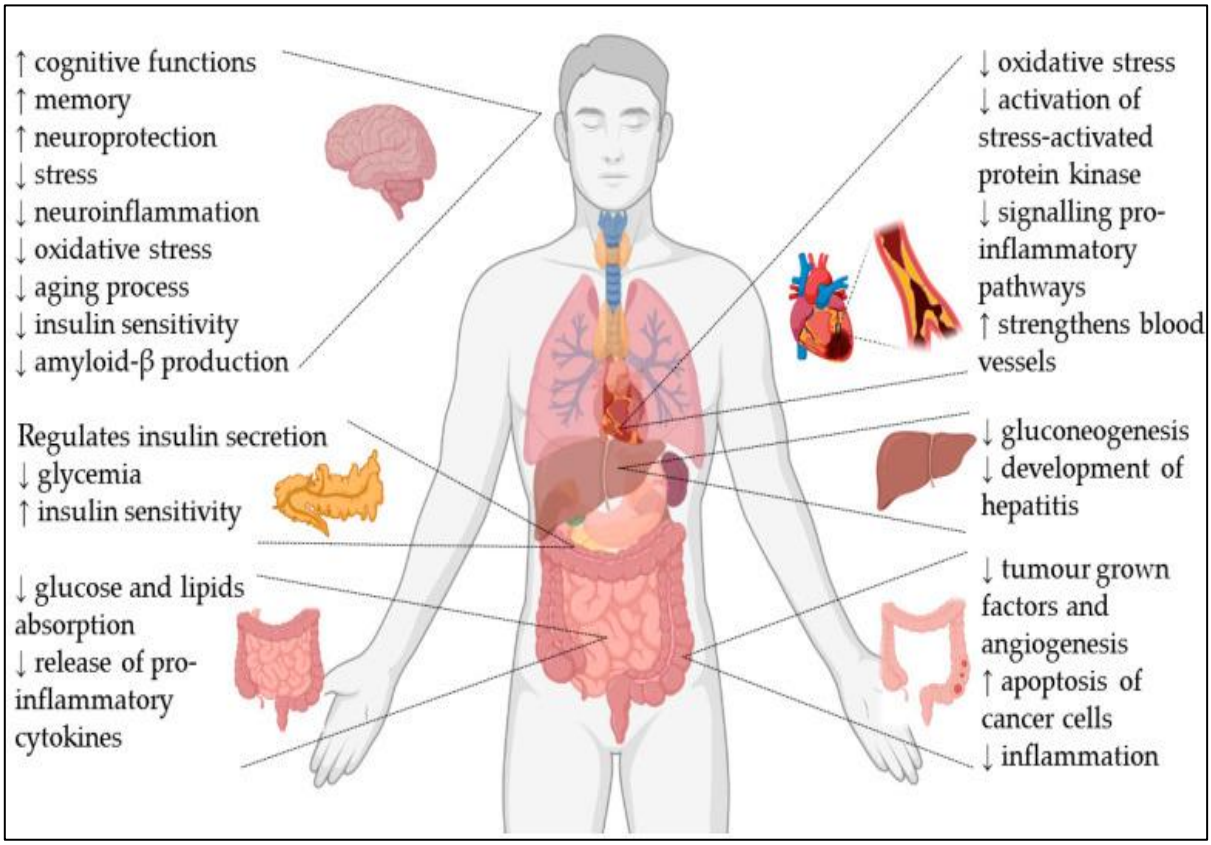


Figure 8: Propriétés bénéfiques pour la santé des principaux composés bioactifs du thématcha.**(Unno,Furushima et al .,2018)**

CHAPITRE II :

LES MÉTABOLITES SECONDAIRES, NOTION DE STRESS OXYDATIF ET DE L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

1. Métabolitessecondaires :

1.1 Définition:

Les métabolites secondaires sont des molécul les organiques complexes ayant une répartition limitée dans l'organisme de la plante et sont synthétisées et accumulées en petites Quantités Sont retrouvés dans toutes les parties de la plante, mais distribués différemment Selon leurs rôles. En effet, ils n'exercent pas de fonctions directes au niveau des activités fondamentales comme la croissance, ou la reproduction **(Fleuriet, 1982).**Cette distribution varie d'une plante à l'autre. Ils sont divisés principalement en trois grandes familles **(LutgeUet *al*., 2002) :**

- Les polyphénols ou composés phénoliques (citées dans ce travail)
- Les terpènes .
- Les alcaloïdes .

1.2 Les composés phénoliques :

Les composés phénoliques ou polyphénols forment une grande famill e de composés chimiques très divers depuis les simples acides phénoliques jusqu' aux grands polymères complexes que sont par exemple, les tanins et la lignine **(Hopkins, 2003)**. L' élément structural fondamental qui les caractérises est la présence d' aux moins un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction: éther, ester, hétéroside **(Bruneton, 1993)**. Ces composés contiennent exclusivement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène, il en dérive de nombreux composés souvent très différents par leur configuration et leur propriété. **(Gerhard, 1993).**

1.3 Les alcaloïdes :

Un alcaloïde est un composé organique naturel (le plus souvent d'origine végétale), hétérocyclique avec l'azote comme hétéroatome, de structure moléculaire complexe plus ou moins basique et doué de propriétés physiologiques prononcées même à faible dose .Représentant un groupe fascinant de produits naturels, ils constituent un des plus grands groupes de métabolites secondaires avec près de 10 000 à 12 000 différentes structures .**(Juenger ,2007)**

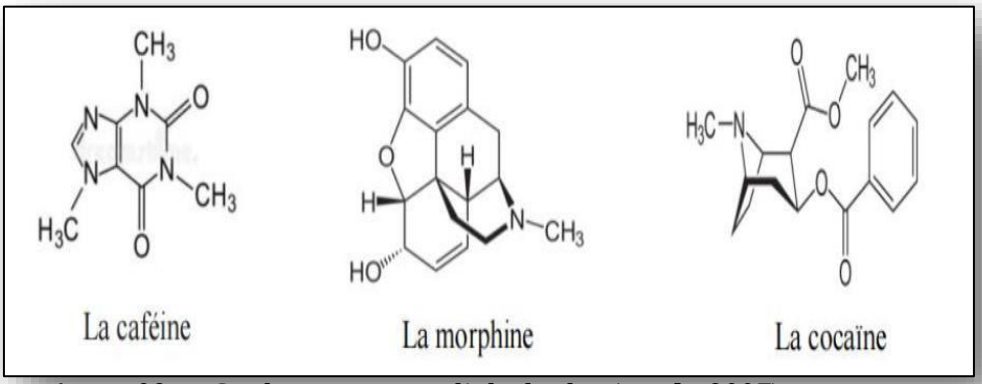


Figure 09 : Quelque structure d'alcaloïdes **(Zenk ,2007)**

1 .4 Les terpènes :

Les terpènes (Terpénoïdes) sont des constituants habituels des cellules végétales, impliqués ou non dans des fonctions métaboliques essentielles. Ils sont d'origine végétale et constituent la source odoriférante des plantes, cette odeur est due à la libération des molécules très volatiles contenant 10, 15 et 20 atomes de carbone. Les extraites de ces molécules sont employées comme condiment (girofle) ou comme parfum (rose, lavande). Nombre d'entre euxpossèdent des propriétés antiseptiques **(Klaas et *al* . , 2002)**

Du point de vue structural, Les terpènes sont des dérivés de L'isoprène C5H8 et ont formulede base des multiples de celle-ci, c'est-à-dire (C5H8) n **(Donald,1968) .** Ces substances organiques font partie des métabolites secondaires, les plus répandus dans la nature. En effet, plus de36.000 structures différentes ont été identifiées . **(Hill ,2002)**

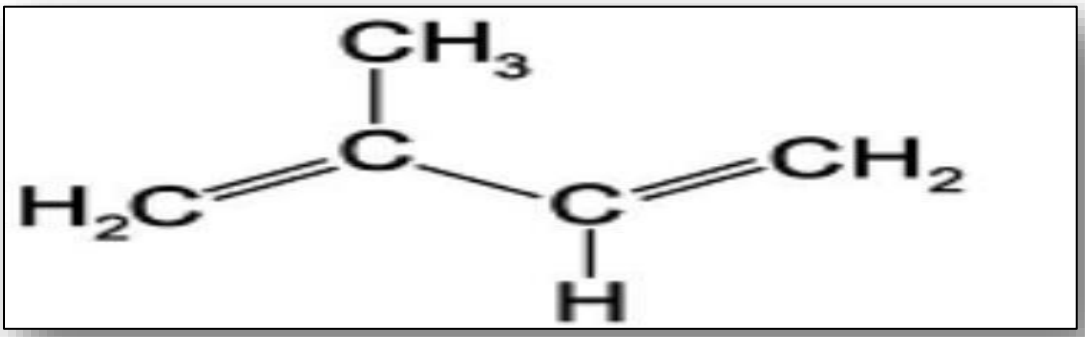


Figure 10 : La structure de base des terpènes (isoprène) **(Camara ,2005)**

1.5.Stéroïdes,stérol :

Les stéroïdes sont des triterpènes tétracycliques. Ils sont synthétisés à partir d'un triterpèneacyclique, la squalène. Bien qu'ils soient généralement modifiés et qu'ils possèdent moins de30 atomes de carbone. Les stéroïdes qui possèdent un groupent alcool, ce qui est le cas

chezpratiquement toutes plantes, sont appelés stérols. Les stérols les plus abondants chez les plantessont le stigmastérol et le sitostérol **(figure 11)(Hopkins ,2003) .**

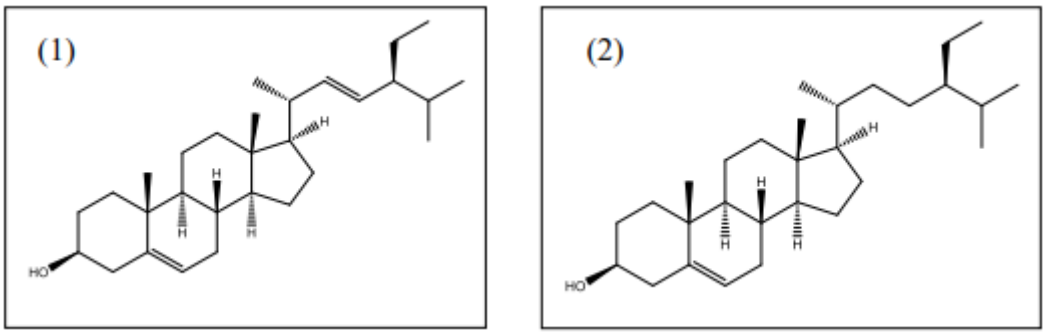


Figure 11 : Structure de stigmastérol (1) et le sitostérol (2) **(Rokalla,2023)**

1.6 Les saponines :

Les saponines ou saponosides sont un groupe de métabolites secondaires, abondamment trouvés dans certaines familles du règne végétal. Ils sont principalement produits par les plantes supérieures, mais aussi par des animaux marins inférieurs et quelques bactéries. Leur nom provient du latin *sapo*signifiant "savon" en raison de leurs propriétés à former des solutions moussantes en présence d'eau. Ce sont des hétérosides de poids moléculaire élevé qui se composent d'une partie lipophile, l'aglycone (ou génine) et d'une partie hydrophile osidique (figure 12). Cette combinaison d'éléments structuraux polaires et non polaires en leurs molécules explique leur comportement moussant en solution aqueuse **(Bencharif ,2014).** La partieaglycone (sapogénine) est constituée d'un noyau stéroidique ou triterpènique**(Thakuret *al* ., 2011)**

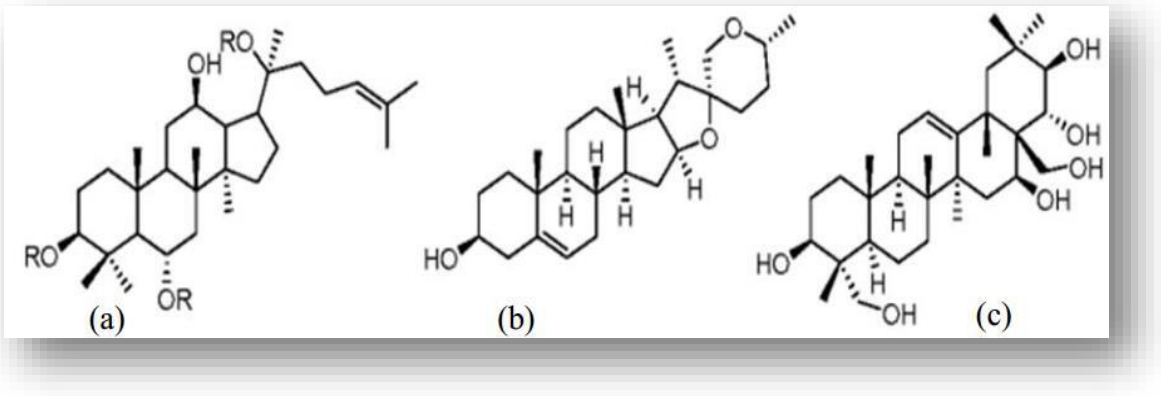


Figure 12 : Structures des saponines. (a) Ginsenoside, (b) Diosgenin, (c) Gymnemagenin**(Melzig M et *al* ., 2011).**

2. Stress oxydatif:

Le stress oxydatif est caractérisé par un déséquilibre entre la production des espèces radicalaires et les mécanismes de défense antioxydante de l'organisme **(beaudeux ,2011) .**

En effet, le stress oxydatif se manifeste lorsque survient un déséquilibre chez un individu et se traduit par des réponses inflammatoires . Ce déséquilibre peut résulter d'une production excessive d'agents oxydants ou d'une altération des mécanismes de défense parmi les principaux agents oxydants ,on trouve les ERO (Espéces Réactives de L'oxygène) . **(Morena et *al*., 2002)**

Les ERO sont présentes dans la cellule à des doses raisonnables : leur concentration est régulée par l'équilibre entre leur taux de production et leur taux d'élimination par les systèmes antioxydants, ainsi, à l'état quiescent, on dit que la balance antioxydants/pro-oxydants (balance rédox) est en équilibre .

Cependant cet équilibre rédox peut être rompu, soit par une production excessive d'ERO, soit par une diminution des capacités antioxydantes (Figure 13). On parle alors de stress oxydant. Le stress oxydant et les ERO peuvent être à l'origine de dommages cellulaires et sont donc à l'origine du développement de diverses pathologies, telles que le diabète, les désordres rhumatismaux (**KrishnaA.Betal . , 2010)**

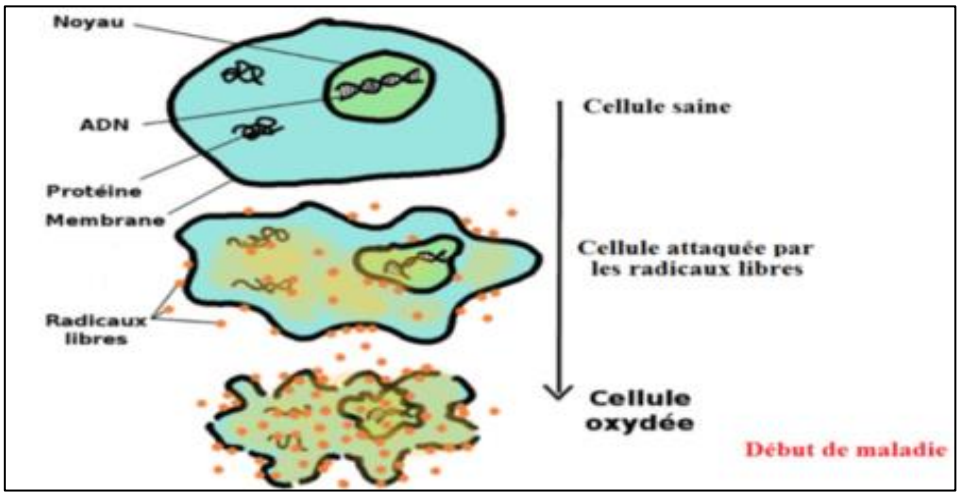


Figure 13 : L'incidence de la Stress oxydatif dans la cellule .(**Krishna A.B et *al* . , 2010)**

2.2 Origines du Stress oxydant :

Il y'a deux origines du stress oxydatif endogène et exogène.

- **Stress oxydantEndogène:**

La mitochondrie est en effet la principale source endogène de la respiration cellulaire, c'est-àdire de par la chaine respiratoire proviennent les radicaux libres. Leur structure déséquilibrée

électronique leur donne une réactivité sur les composantes tissulaires qui leur permet d'entrer en jeu dans le contrôle d'une grande partie de réactions oxydoréduction indispensables à la vie et à la croissance. Ces radicaux libres sont formés en continu dans l'organisme sain. Cette formation est due à la fuite d'électrons depuis la chaine respiratoire et au cours de l'élimination des peroxydes tissulaires. Le stress, quant à lui, hausse le flux de ces derniers, l'organisme sera alors épuisé des réserves de composés protecteurs qui les calibrent, « les vitamines et les chélateurs tel que le glutathion » **(Guillouty, 2016).**

- **Stress oxydant Exogène :**

L'organisme humain est soumis à l'agrégation de différents agents extérieurs capables de donner naissance à des espèces oxygénée réactives **(FAVIER ,2003)** .

- **Les rayonnements ultra-violets :**

Les rayons UVA (320-400 nm) peuvent être absorbés par des chromophores qui vont alors être excités pour fournir un oxygène singulier. Ils réduisent également l'O_2 en anion superoxyde (O_2-) qui sera rapidement transformé par l'enzyme superoxyde dismutase (SOD) en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) qui sera réduit à son tour en radical hydroxyle (OH) par la réaction de Fenton. OH réagit alors avec les protéines, les lipides et l'ADN **(Laouini, 2014).**

- **Le tabagisme :**

La fumée de cigarette est un mélange complexe de composés réactifs dans ses phases gazeuse et particulaire. L'exposition à la fumée de tabac peut avoir des effets néfastes sur les niveaux de certains antioxydants endogènes, tels que le bêta-carotène, qui est une forme de vitamine A. (Anti oxydant), d'où résulte une diminution de la protection contre les ERO. Ce facteur exogène est connu pour ses propriétés destructrices des réserves d'antioxydants endogènes tels que la vitamine A. Les radicaux libres induits par le tabac provoquent une baisse du taux de la béta carotène et favorisent donc l'activité enzymatique de « la métalloprotéinase-1 (MMP-1) ». Cette dernière entraîne à son tour une dégénérescence du collagène **(LAOUINI ,2014)**

2.2.1 origine des radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, molécule, morceau de molécule ou simple atome capable d'avoir une existence indépendante « libre » en contenant un ou plusieurs électrons célibataires (électron non apparié sur une orbitale). Cela lui confère une grande réactivité donc une demi-vie très courte. En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbital en captant un électron pour devenir plus stable **(figure 14) (Goudable et Favier,1997).**

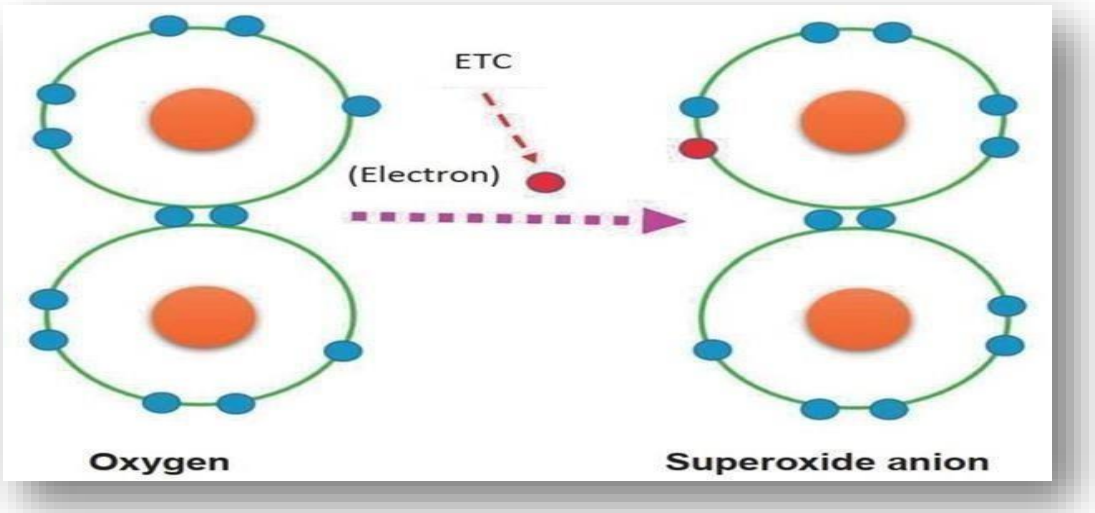


Figure 14 : Production des radicaux libres **(Krüger, J. 2010)**

La formation des radicaux libres peut être favorisée par divers facteurs endogènes et exogènes. Parmi les facteurs endogènes, on retrouve les réactions métaboliques normales de l'organisme, les processus inflammatoires ainsi que certaines activités enzymatiques. Les facteurs exogènes comprennent notamment l'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV), aux radiations ionisantes, à la pollution atmosphérique, au tabagisme, à l'alcoolisme, au stress et à une mauvaise hygiène de vie. L'ensemble de ces facteurs contribue à augmenter la production des espèces réactives de l'oxygène (ROS), entraînant ainsi des dommages oxydatifs au niveau cellulaire **(phaniendra et *al* ., 2015) .**

2.2.2 Rôle biologique des radicaux libres :

Dans l'organisme, les radicaux libres (espèces réactives de l'oxygène et de l'azote) agissent comme une véritable épée à double tranchant. Leur impact sur la santé dépend entièrement de leur concentration dans les cellules**(Figure. 15).**

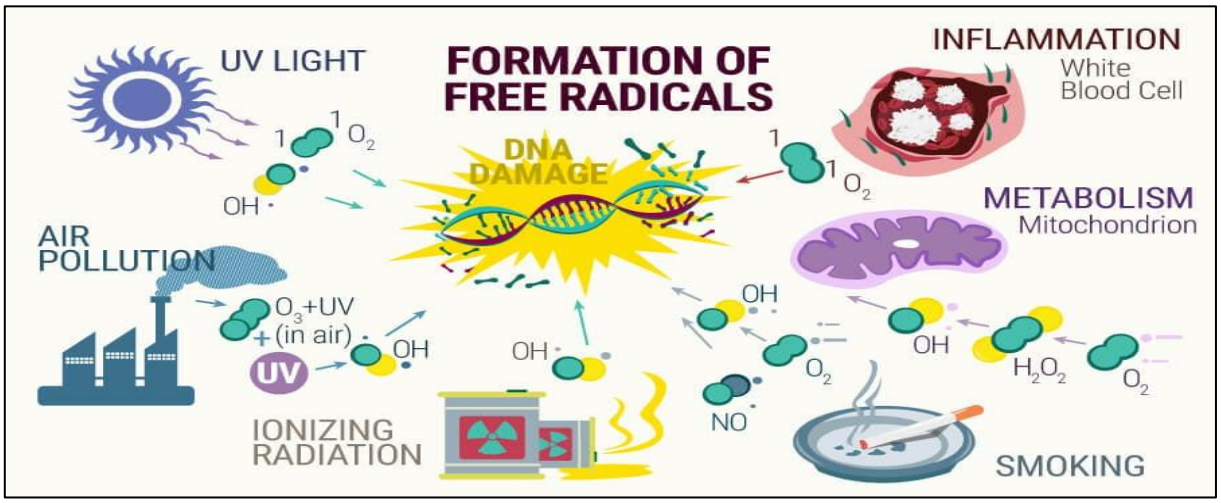


Figure 15 :L'Origine des radicaux libres **(Droge W . ; 2002)**

- **La phagocytose :**

Les radicaux libres jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement de la réaction immunitaire. La phagocytose des bactéries et des parasites par les macrophages ou les polynucléaires s'accompagne d'une production d'espèces réactives de l'oxygène si brutale et intense qu'elle est connue sous le nom «Bouffée respiratoire » puis qu'elle s'accompagne d'une augmentation transitoire de la consommation d'oxygène. Au sein de phagosome, l'activation de la NADPH oxydase, l'action des superoxydes dismutases (SOD) et la NO synthase (NOS) aboutissent à un mélange très corrosif de $O_2^{\bullet-}$,H_2O_2 , HO•, ONOOH. L'eau oxygénée (H_2O_2) en présence de chlore et sous l'effet de la myeloperoxydase donnera naissance à l'acide hypochlorique HOCl, c'est l'oxydant microbicide le plus puissant **(Favier, 2003).**

- **La signalisation cellulaire :**

En dehors de leurs actions délétères, les ERO peuvent agir en tant que molécule de signal et intervenir dans la communication intracellulaire et intercellulaire. Ils participent à l'expression de certains gènes et à leur régulation. Cela leur confère un rôle important dans les phénomènes de croissance et de mort cellulaire.

Les mécanismes de communication cellulaire faisant intervenir les radicaux libres ne sont pas encore élucidés. En résumé :

- les radicaux libres joueraient un rôle dans la régulation de l'expression des gènes.

La présence de radicaux libres dans le milieu extracellulaire est à l'origine de l'activation de certains facteurs de transcription par des mécanismes encore mal compris. Il en résulte ensuite l'expression des gènes correspondants **(Delattre et *al*., 2005).**

- Les radicaux libres peuvent intervenir dans la prolifération, la différenciation, l'adhésion et la migration **(Jacques, 2010).**

- Les radicaux libres participent au fonctionnement de certaines enzymes, à la transduction de signaux cellulaires **(Favier, 2003).**

- Les radicaux libres jouent un rôle dans la régulation de la dilatation capillaire, au fonctionnement de certains neurones et notamment ceux de la mémoire **(Favier, 2003).**

2.3 Effet du stress oxydatif sur organisme :

2.3.1. Oxydation de l'ADN :

La molécule de l'ADN constitue une cible cellulaire importante pour les attaques radicalaires. Les modifications observées après l'action du radical HO• sont très nombreuses: conversion des résidus thymines en thymine glycol et 5-hydroxy méthyluracile, de la guanine en 8-hydroxy guanine, oxydation du désoxyribose entrainent une coupure des brins de la double hélice. Ces dénaturation peuvent avoir de grave conséquences sur la réplication du génome **(Leverse et *al*., 2001)** et conduisant ainsi à la mutagénèse, la carcinogénèse et la mort cellulaire (Figure. 16)**(Pasquier, 1995).**

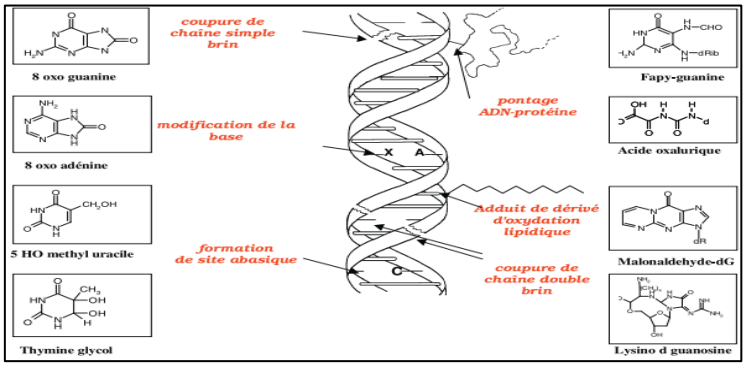


Figure 16 : Lésions de l'ADN formées par attaque radicalaire du patrimoine génétique des cellules **(Favier, 2003)**

2.3.2. Oxydation des protéines :

L'électron non apparié des radicaux libres peut s'attaquer à la structure de certaines protéines, en particulier les protéines porteuses d'un groupement sulfhydryle (-SH), c'est le cas de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport qui vont ainsi être oxydées et entrainer la formation de ponts entre protéines, une fragmentation ou une dénaturation de la protéine **(Lacolley et al., 2007).**

Les protéines sont sensibles à l'action du radical HO•, celui-ci peut, en effet, réagir avec différents acides aminés des chaines de protéines, les plus sensibles à son action sont les acides aminés aromatiques comme le tryptophane, la tyrosine, ou celui ayant un noyau imidazole comme l'histidine, sur lesquels le radical HO• s'additionne et provoque un changement de conformation de la molécule de protéine **(Figure 17)(Pasquier, 1995).**

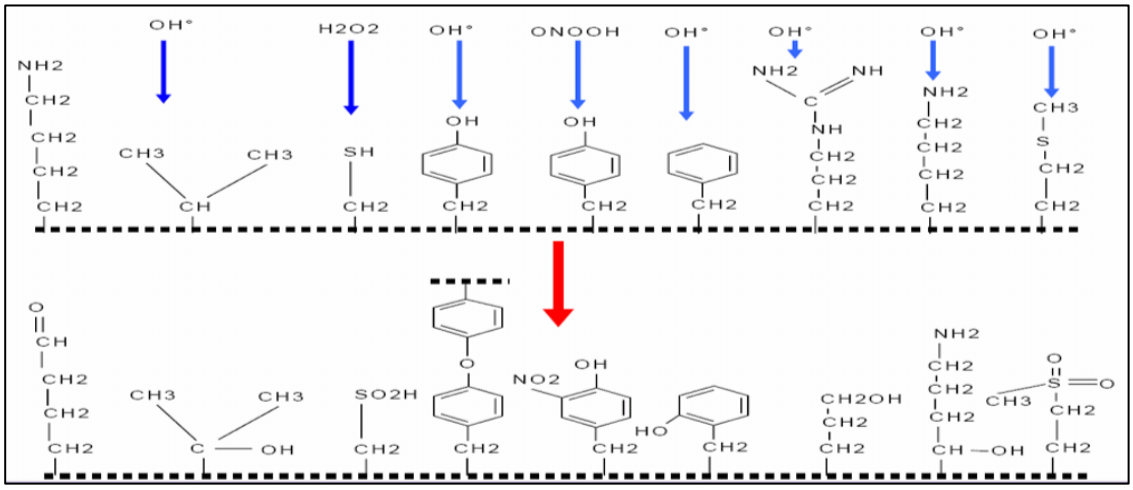


Figure 17 : Nature de quelques modifications des chaines d'acides aminée des protéines après attaque radicalaire **(Favier, 2003)**

2.3.3 Peroxydation des lipides :

Les lipides et principalement leurs acides gras polyinsaturés sont la cible privilégiée de l'attaque par le radical hydroxyle HO•, qui est capable d'arracher un hydrogène sur les carbones situés entre deux doubles liaisons pour former un radical diène conjugué, et qu'il sera oxydé en radical peroxyle. Cette réaction appelée peroxydation lipidique forme une réaction en chaîne, car le radical peroxyle formé se transforme en peroxyde au contact d'un autre acide gras qui forme un nouveau radical diène conjugué **(Esterbauer et al., 1992).**

Les produits de dégradation des lipides sont des aldéhydes tels que le malondialdéhyde (MDA) et des hydrocarbures tels que l'éthane et l'éthylène **(Gutteridge& Halliwell, 1990).** La peroxydation lipidique dans les mitochondries entraîne des dysfonctionnements de la production d'ATP mais peut également induire l'apoptose **(Green & Reed, 1998).**

Cette attaque des lipides peut concerner les lipoprotéines circulantes ou les phospholipides membranaires. Les conséquences seront différentes: l'attaque des lipides circulants aboutissant à la formation de LDL (lipoprotéines de densité légère) oxydées qui captées par des macrophages, formeront le dépôt lipidique de la plaque d'athérome des maladies cardiovasculaires, l'attaque des phospholipides membranaires modifiant la fluidité de la membrane et donc le fonctionnement de nombreux récepteurs et transporteurs et la transduction des signaux (Figure. 18) **(Favier, 2003).**

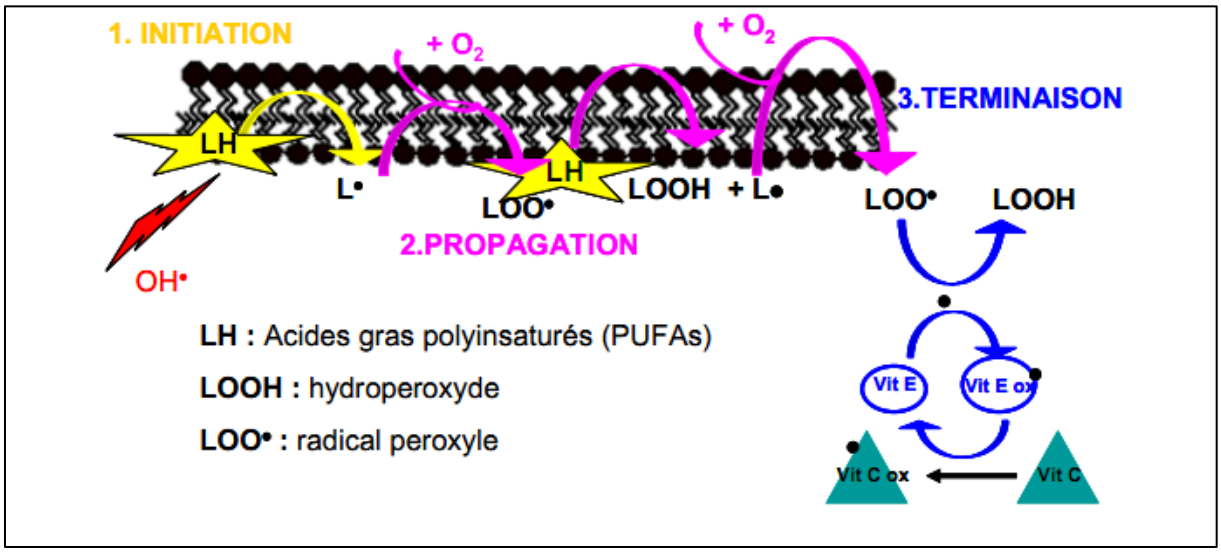


Figure 18 : Réactions de la peroxydation lipidique **(Daum-Badouard, 2006)**

3. Antioxydants et activité antioxydante :

3.1 Définition :

Un antioxydant peut être défini comme toute substance capable, à une concentration relativement faible, d'entrer en compétition avec d'autres substrats oxydables et ainsi retarder ou empêcher l'oxydation de ces substrats **(Diallo, 2005)**. Les cellules utilisent de nombreuses stratégies antioxydantes et consomment beaucoup d'énergie pour contrôler leurs niveaux d'espèces réactives de l'oxygène **(Dias, 2019)**. De même, les antioxydants sont des composés puissants qui peuvent neutraliser les radicaux libres impliqués dans la dégradation cellulaire, et nous aident ainsi à garder une vie active et saine. Quelques antioxydants sont fabriqués par le corps humain, d'autres tels que les vitamines et polyphénols, doivent être apportés par notre alimentation **(Barteková et al., 2021)**. Les antioxydants peuvent être classés selon leur mode d'action, leur localisation cellulaire et leur origine **(Delattre et al., 2005 ; Kumar et al.,2017)**

3.2 Classification des antioxydants :

3.2.1 selon leur mécanisme d'action :

- **Groupe I (les antioxydants primaires) :**

Ce genre d'antioxydants peut inhiber la réaction d'initiation et la propagation de l'oxydation en participant au processus d'oxydation et en convertissant les radicaux libres vers leurs formes inactives.

Les antioxydants primaires sont généralement des composés phénoliques (AH) capables de donner un atome d'hydrogène au radical libre et le convertir en un composé stable non radicalaire. **(AATTI,2014)**

Les antioxydants de ce groupe réagissent de façon prédominante avec les radicaux pyroxylés, pour deux raisons : la concentration élevée de ces radicaux et la faible énergie du groupement (ROO·), un piégeur du radical libre, même à des concentrations faibles, entre en compétition avec les lipides pour rendre le radical libre inactif par l'intermédiaire d'une réaction de libération d'un électron, suivie d'une déprotonation**(AATTI,2014)**

- **Groupe II (les antioxydants secondaires) :**

Les antioxydants secondaires englobent une large gamme de différentes substances chimiques chélateurs de métaux pro-oxydatifs, des piégeurs de la molécule d'oxygène, inhibiteurs des enzymes pro-oxydative, enzymes antioxydants et destructeurs des hydroperoxides**(AATTI,2014)**

3.2.2. Selon la nature chimique :

Plusieurs substances peuvent agir en tant qu'antioxydants in vivo. Elles incluent le bêta carotène, l'albumine, l'acide urique, les oestrogènes, les polyamines, les flavonoïdes, l'acide ascorbique, les composés phénoliques, la vitamine E…etc. Elles peuvent stabiliser les membranes en diminuant leur perméabilité et elles ont également une capacité de lier les acides gras libres**(BENASSOU, 2014)**

- **Les antioxydantsnaturelsenzymatiques:**

Les antioxydants enzymatiques, il s'agit principalement de trois enzymes ; le superoxyde dismutasse (SOD), la catalase (CAT) et la glutathion peroxydase (GPx). Ces enzymes ont une action complémentaire sur la cascade radicalaire au niveau du O2 et $_{du}$, H2O2 conduisant finalement à la formation de l'eau et de l'oxygène moléculaire **(benassou, 2014)**

A. (SOD) superoxydesdismutases:

La famille des superoxyde-dismutases comporte trois isoformes (SOD1, SOD2, SOD3) dont le rôle est la dismutation de deux anions superoxyde en espèces oxygénées moins réactives que sont H_2O_2 et O_2. L'activité des SOD est dépendante des apports nutritionnels en cuivre et à un moindre degré en zinc **(benassou, 2014)**

B. Les catalases:

Essentiellement présentes dans les peroxysomes et dans les érythrocytes, sont capables de transformer le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire, mais leur rôle est très important surtout en présence d'ions ferreux**(BENASSOU, 2014)**

C. Les glutathions peroxydases et réductases (GSHPX) :

Les glutathions peroxydases et réductases sont localisées dans le cytosol et dans les mitochondries. Le rôle de la glutathion peroxydase (GPx) est de réduire d'une part le peroxyde d'hydrogène en molécule d'eau, et d'autre part les hydroperoxydes organiques (ROOH) en alcools. Lors de cette réaction, qui demande l'intervention de deux molécules de glutathion (GSH), celles-ci se transforment en glutathion-disulfure (GSSG) **(BENASSOU, 2014)**

- **Les système antioxydant endogène non enzymatique :**

Ce groupe de systèmes antioxydants renferme de nombreuses substances endogènes parmi lesquelles on peut citer le glutathion, l'acide urique, la bilirubine, l'acide lipoïque et le coenzymeQ

A.Glutathion :

Le GSH est un tripeptide (Lγglutamy-l-cystéinyl-glycine) impliqué dans de nombreux processus au niveau intracellulaire. Son rôle dans la détoxication de xénobiotique **(Beaudeux Geneviève, *2011*)** et dans la protection des lipides, des protéines et des acides nucléiques contre l'oxydation a été bien établi **(Stamler&Slivka, *1996*)**.

Dans des conditions physiologiques, le glutathion sous forme réduite (GSH) représente la très grande majorité du glutathion total (90 à 98%), lors d'un stress oxydant le GSH est oxydé avec la formation de pont disulfure, GSSG, et/ou de pont disulfure mixte, GSSR (R étant fixé àun autre thiol radicalaire) **(Stamler&Slivka, *1996*)**. Le glutathion agit également comme cosubstrat d'enzymes antioxydantes telles que la glutathion peroxydase, glutathion réductase et transférase **(Ravi *et al., 2004*).** Il fait aussi l'objet d'interactions synergiques avec d'autres composants du système de protection antioxydant tels que la vitamine C ou la vitamine E **(Gérard & Chaudière, 1996).**

B. L'acide urique :

Le tissu humain ne possède pas l'enzyme nécessaire à la dégradation de l'acide urique en allantoïne, c'est-à-dire l'urate oxydase: en conséquence, l'acide urique s'accumule comme produit final de catabolisme des purines, et est présent en quantité importante dans le plasma humain avant d'être éliminé par voie rénale. La perte de cette enzyme au cours de l'évolution pourrait avoir des effets bénéfiques puis qu'il a été démontré que l'acide urique possédait des propriétés antioxydantes **(Lacolley et *al., 2007*)**. A un pH physiologique l'acide urique est majoritairement ionisé sous forme d'urate, un piégeur puissant de radicaux (OH•, ROO•, NOO•…) **(Halenge*t al*., *2007*)**.

C. Bilirubine :

La bilirubine est un produit terminal de la dégradation de l'hème et résulte essentiellement du catabolisme de l'hémoglobine par les cellules réticuloendothéliales. Ce composé liposoluble est capable de piéger les radicaux peroxyle, l'oxygène singulet et le radical hydroxyle, protégeant ainsi l'albumine et les acides gras liés à l'albumine des attaques radicalaires **(Schimnich*et al.*, 2007)**. La bilirubine est oxydée par certaines espècesrecyclée par la biliverdine réductase**(Halliwell &Gutteridge, *2007*)**.

D .Acide lipoïque :

C'est un antioxydant puissant qui peut régénérer d'autres antioxydants tels que les vitamines C et E **(David, *2015*)**. Il est capable de piéger le HO•, ROO•, HOCl• et 1O2 **(Packer *et al., 2001*)**, de chélate les métaux lourds, réduit la glycation et interviendrait dans la réparation del'ADN. Il existe sous forme oxydée et sous forme réduite. Produit en petite quantité par le foie, ilse trouve également dans certains aliments (la levure, la viande de bœuf, l'épinard, le brocoli…) **(Médart., *2009*)**.

E.CoenzyQ10 :

La coenzyme Q10 appelée ubiquinone en raison de son ubiquité dans les cellules, est un dérivé benzoquinolique avec une longue chaîne latérale isoprénique **(Halenget *al.*, *2007*)**. Elle est hautement soluble dans les lipides, et se retrouve dans la quasi-totalité de la membrane cellulaire, ainsi que les lipoprotéines **(Stargrove*et al., 2008*)**. La CoQ10 synthétisée par l'organisme à partir du mévalonate qui est également impliqué dans la formation du cholestérol **(Roberfroid*et al.*, *2008*)**. Cet antioxydant se trouve aussi dans des aliments comme les noix, lefoie, les sardines, des grains complets et certains légumes.

- **Le système antioxydant exogène non enzymatiques :**

Contrairement aux enzymes antioxydantes, la plupart de ces composants ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation. Dans cette catégorie d'antioxydants, nous retrouvons les oligoéléments, la glutathion réduit (GSH), les vitamines E et C et les polyphénols **(BENASSOU, 2014)**

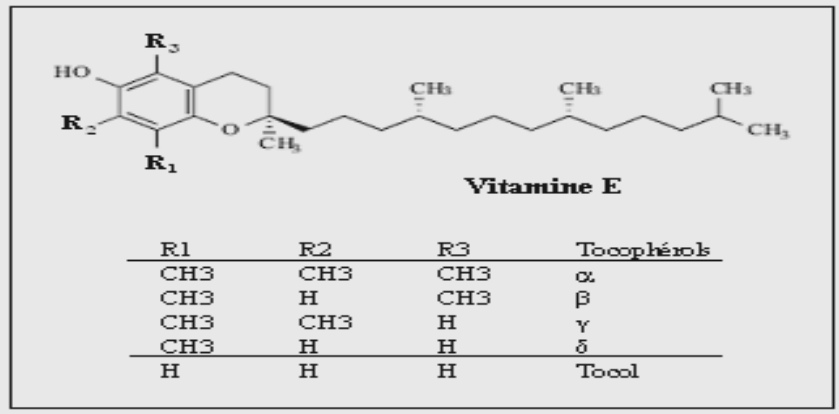
A. La vitamine C :

L'acide L-ascorbique ou vitamine C est considéré comme le plus important antioxydant dans les fluides extracellulaires. C'est un piégeur très efficace des ions superoxydes O2 -, du peroxyde d'hydrogène H_2O_2 et des radicaux hydroxyles HO•.

Le rôle antioxydant de la vitamine C est basé sur sa réaction avec les radicaux peroxyles aqueux, avant qu'ils initient la peroxydation lipidique le produit formé étant le radical ascorbyle. La vitamine C protège ainsi les biomembranes et les lipoprotéines **(MERIDJA,2014)**

B. La vitamine E :

La vitamine E regroupe de nombreux composants, les α-, β-, γ- et δ-tocophérols et tocotriénols. La vitamine E étant liposoluble, elle se fixe aux membranes et peut ainsi séquestrer les radicaux libres empêchant la propagation des réactions de peroxydation lipidique **(MERIDJA,2014)**



R1	R2	R3	Tocophérols
CH3	CH3	CH3	α
CH3	H	CH3	β
CH3	CH3	H	γ
CH3	H	H	δ
H	H	H	Tocol

Figure 19 : Structure des tocophérols **(Coulon, 2004).**

C. Le β-carotène:

Le β-carotène, précurseur de la vitamine A, est apporté par l'alimentation, il a le pouvoir de terminer les réactions en chaine de lipoperoxydation. Il protège les structures cellulaires contre l'agression oxydante en s'opposant à la génotoxicité de nombreux agents.

L'activité antioxydante du β-carotène est liée à leur longue chaîne polyénique qui leur permet de réagir avec les radicaux ROO•, HO•, O2 •-, R• par simple addition électrophile et transfert d'électron**(MERIDJA,2014).**

D. Le Glutathion:

Le glutathion est agent anti radicalaire composé de 3 acides aminés : cystéine, acide glutamique et glycine. Les deux derniers acides aminés sont produits rapidement par l'organisme mais la cystéine est un acide aminé semi-essentiel, qui doit donc être présent dans notre alimentation.

Le glutathion joue un rôle majeur dans la protection des lipides, des protéines et des acides nucléiques contre l'oxydation. Le rôle protecteur et détoxifiant de glutathion résulte principalement de sa fonction comme coenzyme de glutathion peroxydase (GSHPX). De plus il a des interactions synergiques avec d'autres composants du système de protection antioxydant tels que la vitamine C ou la vitamine E [**(MERIDJA,2014).**

E. Les oligoéléments:

Le cuivre, le zinc, le manganèse, le sélénium et le fer sont des métaux essentiels dans la défense contre le stress oxydant. Ces oligoéléments jouent le rôle de cofacteur pour maintenir l'activité catalytique des enzymes antioxydantes.

Le sélénium (Se) joue un rôle clé dans la protection des cellules et de leurs constituants contre l'attaque radicalaire. Cette fonction est due à sa présence dans le site actif des glutathions peroxydases sélénodépendantes, et à l'activité biologique anti radicalaire des scléroprotéines. Le zinc (Zn) et le Cu jouent un rôle dans le fonctionnement de SOD(**Migdal et Serres, 2011).**

F. Polyphénols:

Les polyphénols, représentés par les flavonoïdes, les acides phénoliques, les tannins, coumarines, stillibènes et les lignanes, sont d'un intérêt croissant. Une des raisons principales de cet intérêt est la reconnaissance de leurs propriétés antioxydantes et ainsi leur implication, probable dans la prévention des diverses pathologies associées au stress oxydant.

Un très grand nombre de données expérimentales plaide aujourd'hui en faveur de leur implication dans la prévention des maladies dégénératives telles que : cancers, maladies cardio-vasculaires, ostéoporose ou maladies inflammatoires**(MERIDJA,2014).**

3.3 Les effets des antioxydants sur la santé :

- **Effet cardioprotecteur (Protection contre les maladies cardiovasculaires :**

Les antioxydants présents dans le thé matcha, notamment les catéchines et l'épigallocatéchine gallate (EGCG), contribuent à la protection du système cardiovasculaire. Ils réduisent l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL), améliorent la fonction endothéliale et diminuent l'inflammation vasculaire. Ces mécanismes permettent de réduire le risque d'athérosclérose, d'hypertension artérielle et de maladies coronariennes **(Kochman et *al* ., 2021).**

- **Effet neuroprotecteur (Protection du système nerveux) :**

Le matcha contient de la L-théanine, de la caféine et des catéchines qui agissent en synergie pour améliorer les fonctions cognitives. Ces composés favorisent la concentration, la mémoire et la vigilance tout en réduisant le stress et l'anxiété. De plus, leurs propriétés antioxydantes contribuent à protéger les neurones contre les dommages causés par le stress oxydatif**(Unno et *al*., 2022).**

- **Effet anti-inflammatoire et immun protecteur :**

Les polyphénols du matcha possèdent une activité anti-inflammatoire importante. Ils réduisent la production de médiateurs inflammatoires et renforcent les défenses antioxydantes de l'organisme. Cette action contribue au bon fonctionnement du système immunitaire et à la prévention de diverses maladies chronique **(Mattei et *al* . , 2018)**

- **Effet antidiabétique et métabolique :**

Les antioxydants du matcha peuvent améliorer la sensibilité à l'insuline et favoriser le métabolisme du glucose. Ils participent également à la réduction du stress oxydatif associé au diabète de type 2 et contribuent au maintien d'un métabolisme énergétique normal. **(Janda et *al* ., 2021)**.

- **Effet anticancéreux potentiel :**

Les catéchines du matcha, en particulier l'EGCG, présentent des propriétés antioxydantes capables d'inhiber la prolifération cellulaire et de limiter les dommages oxydatifs de l'ADN. Plusieurs études expérimentales suggèrent un rôle potentiel dans la prévention de certains types de cancers, bien que des études cliniques complémentaires soient nécessaires.

- **Effet anti-âge et protection cellulaire :**

Grâce à leur capacité à neutraliser les radicaux libres, les antioxydants du matcha réduisent les dommages oxydatifs affectant les lipides, les protéines et l'ADN. Cette activité contribue au ralentissement du vieillissement cellulaire et au maintien des fonctions physiologiques normales **(Mruk et *al* ., 2021).**

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel vegetal:

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est le thé matcha d'origine japonaise, de la Marque Organic Powder, un thé 100% bio **(Figure 20).** Le thé a été acheté dans le commerce en Mars 2026. La composition nutritionnelle de ce thé matcha bio est mentionnée dans le **Tableau 3.**



Figure20: le thé matcha utilisé dans notre étude

1. Préparation de l'extraitvégétal:

Il existe différents protocoles d'extraction à partir d'un matériel végétal. Dans notre étude nous avons adoptépour l'ensemble de nos extractions la méthode la plus couramment utilisée soit la macérationdans une solution à polarité croissante, en l'occurrence le mélange éthanol -eau.Ainsi, cette méthode permet une meilleure solubilisation des composés phénoliques et desmolécules antioxydantes présentes dans le thé matcha.

Dans un premier temps, une quantité de 25 g de de poudre du thé matcha, soigneusement pesée, a été mise dans un erlenmeyer. Une quantité déterminée d'éthanol-eau est alorsajoutée jusqu'à l'émergement de la poudre végétale. Les deux mélanges solvant matériel végétal sont laissés macérer pendant 72 heures à la température ambiante, permettant ainsi une extraction optimale des composés d'intérêt.À l'issue de la phase de macération, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre **(Figure21)**

Tableau 04 :Composition du thé Matcha

Composants	Teneurs approximatives	Remarques
Catéchinestotales	70-100 mg/g	Dont l'EGCG (épigallocatéchine gallate) est la principale (50-70 % des catéchines totales).
Caféine	25-35 mg/g	Action stimulante, associée à la L-théanine pour un effet calmant mais concentré.
L-théanine	14-20 mg/g	Acide aminé aux propriétés relaxantes, synergie avec la caféine.
Fibres alimentaires	30-40 %	Contribuent à la satiété et à la régulation intestinale.
Protéines	15-25 %	Source d'acides aminés essentiels.
Chlorophylle	10-13 mg/g	Responsable de la couleur verte intense, propriétés antioxydantes.
Vitamines	Vitamine C (30-60 mg/100 g)	Vitamine E, Vitamines B1, B2, B3, B6, provitamine A (bêta-carotène).
Minéraux	Potassium, calcium, magnésium, fer	Favorisent l'équilibre électrolytique et le métabolisme.
Flavonoïdes	Présents	Contribuent à l'activité antioxydante globale.
Lipides	~2-5 %	Contiennent des acides gras polyinsaturés.

L'extraitobtenu sont ensuite évaporés à l'aide d'un rotavapeur**(lab tech)** jusqu'à l'obtention d'un résidu sec à visqueux **(Figure 22).**

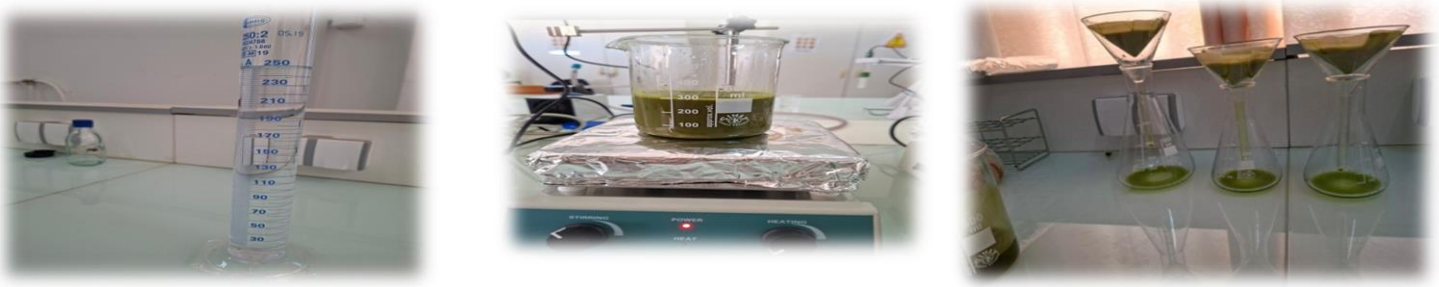


Figure 21 : Les étapes de l'extraction





Figure22 :Préparation de l'extrait

2.1.Calcul du rendement:

Le rendement de l'extraction est le rapport entre le poids de l'extrait obtenu et le poids initial de la plante utilisée. Le rendement exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$R\% = M/M0 \times 100$$

Avec :

R : le rendement exprimé en pourcentage (%).

M : la masse de l'extrait sec en gramme.

M0 : la masse de matière végétale initial utilisé pour l'extraction en gramme.

2.2.Analyse physicochimique de l'extrait éthanolique ;

L'analyse physico-chimique de notre extrait a été effectué au niveau du laboratoire de contrôle de qualité (Affak) , à Oran. Les paramètres analysés sont : teneur en protéines, acidité et indice de peroxyde.

3. Analyse quantitative des composés phénoliques :

Cette analyse permet d'avoir une notion de la teneur en composés phénoliquesdu thé matcha. Ledosage des phénols totaux a été effectué par la méthode décrite par **(Singleton et Ross 1965)**avecl'utilisationdu Folin-Ciocalteu, tandis que les flavonoïdes ont été quantifiés par ledosage direct par le tri-chlorure d'aluminium **(Özkan et *al.* 2007).**

3.1.Dosage des composés phénoliques totaux :

3.1.1. Principe:

Le dosage des polyphénols totaux a été déterminé par spectrophotométrie, en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier estcomposé d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phospho molybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) qui se réduit, lors de l'oxydation des polyphénols, enoxyde bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) qui absorbe fortement à unelongueur d'onde de 765 nm. L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés**(Boizot ; Charpentie.,2006)**Le phénol standard utilisé dans cette méthode est l'acide gallique**(Figure 23).**



Figure 23: Schéma de l'acide gallique

3.1.2.Protocole :

Dans des tubes à hémolyse en verre, un volume de 200µl de l'extrait (1mg/ml) a étémélangé avec 1000µl de réactif Folin-Ciocalteu. Après 5 min, 2000 µl de carbonate de sodium(Na_2CO_3) à 7% sont additionnés. Les tubes sont agités et conservés pendant 2h à l'obscurité.L'absorbance est lue à 765 nm. Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans lesmêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique à différentes concentrations *(30 -1000µg/ml)*. Tous les tests ont été effectués en triplicatas et la concentration en contenu phénoliquea été calculée et exprimée en µg d'équivalent d'acide gallique par mg d'extrait (GAE µg / mgd'extrait).

3.2.Dosage des flavonoïdes totaux :

3.2.1.Principe :

La méthode de trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) cité par Djeridane*et al*. Est utilisé pour quantifier le contenu en flavonoïdes dans notre extrait **(Djeridane *et al*.,2006)**

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (-OH) libre, en position 5 qui est susceptible de former avec son groupement -CO et le chlorure d'aluminium un complexe coloré. Ainsi, l'apparition de la couleur jaune confirme la formation de ce complexe jaune qui absorbe la lumière visible à la longueurd'ondeλ =415 nm.

Ce complexe se traduit par le faitque le métal (Al) a perdu deux électrons pour s'unir à deux oxygènes de la moléculephénolique agissant comme donneurs d'électrons.

(Ribéreau-Gayon .,1962)

Les phénols sont estimés par une spectroscopie UV-visible, dont la Quercetine est utilisé comme un standard **(Figure 24).**



Figure 24: Schéma de la Quércétine

La quantification des flavonoïdes a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnagelinéaire (y=ax) réalisée par une solution étalon (quercitine) à différentes concentrations.

3.2.2.Protocole :

Pour un volume de 1 ml d'échantillon on ajoute 1 ml de la solution ethanolique d'$AlCl_3$ (2%). Après 1 heure d'incubation à température ambiante, l'absorbance a été mesurée 415nm.

Le contenu flavonoïdes totaux a été calculé en µg d'équivalent de quercétine (QE) par mg d'extrait.

4.Evaluation des activités biologiques :

4.1. Evaluation de l'activité antioxydante :

4.1.1.Test de réduction du radical DPPH :

L'activité antioxydante des extraits a été évalué *in vitro* par la méthode de DPPH (2,2 diphényl-2-picryl-hydrazyle) décrite par **(Blois, 1958).**

4.1.2.Principe :

Le radical DPPH est préparé à une concentration 0,1mM, où une quantité de 4 mg est dissoute dans un volume de 100 ml d'éthanol, la solution est gardée à l'abri de la lumière.

Un volume de 1ml des différentes concentrations del'extrait est déposé dans un tube en verre, 3ml de la solution méthanolique de DPPH (0,1 mM) est ajouté par la suite.Parallèlement, un contrôle négatif est préparé en ajoutant 1ml de méthanol à 3ml de la solution éthanolique de DPPH. Après incubation à température ambiante à l'obscuritépendant 30 min, l'absorbance est mesurée à 517 nm.

L'acide ascorbique est utilisé comme standardantioxydant. Lepourcentage de l'activité antiradicalaire de DPPH a été calculé par la formule suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \frac{A_{controle} - A_1}{A_{controle}} X100$$

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1.Evaluation des paramètres physico-chimiques de l'extrait éthanolique du thé matcha :

Les résultats de notre extraction montrent que notre extrait éthanolique de thé matcha présente Un rendement de 30%.

Les résultats de l'analyse physico-chimiques de notre extrait éthanolique sont rapportés dans (**Le tableau 05**)

Tableau 05 : résultats des paramètre physico-chimiques de l'extrait ethanolique du matcha.

Détermination	**Résultats**
Teneur en protéines /100grs	00 grs
Acidité maximale exprimée en acide oléique	12.55%
Indice de peroxydes	7,8 eq d'oxygènepéroxydique/kg

Le matcha, un thé vert en poudre finement moulu originaire du Japon, se caractérise par une méthode de culture unique : les théiers sont cultivés à l'ombre avant la récolte. Cette pratique favorise l'accumulation de chlorophylle, de caféine, de L-théanine et d'autres composés bioactifs. De plus, un traitement post-récolte spécifique, comprenant une cueillette manuelle minutieuse, un passage au vapeur doux, un séchage et un broyage traditionnel à la pierre, contribue à préserver l'intégrité nutritionnelle et biochimique des feuilles de ce type de thé **(Sławińska et *al.*, 2026).**

Ainsi, dans notre travail, dans un premier temps nous avons effectué une extraction éthanolique de notre poudre de thé matcha. Le procédé d'extraction appliqué à notre échantillon a permis d'obtenir un rendement en matière sèche de (30 %). Cette valeur s'inscrit parfaitement dans la fourchette haute des rendements d'extraction rapportés par la littérature scientifique pour le thé vert (*Camellia sinensis*). En effet, des travaux de référence comme ceux de (**Perva-Uzunalić et *al.*,2006)** établissent qu'une extraction exhaustive du thé vert produit des rendements moyens globaux se situant autour de 30 %. De même, **(Setyopratomo,2014)** a mis en évidence des rendements éthanoliques s'échelonnant de 28 % à 33 % selon la température opératoire.

Bien que la littérature scientifique établisse que la poudre de thé matcha brute soit une source importante de protéines végétales, avec des teneurs moyennes documentées de 17,3 % de matière sèche **(Koláčková et *al.*, 2024 ; Sławińska&Raczkowska, 2026)**, l'analyse physico-chimique à révéler que notre extrait éthanolique de thé matcha affiche une teneur en protéinesstrictement nulle (0 %). Ce résultat peut s'expliquer par l'effet de l'utilisation de la méthode d'extraction par l'éthanol

sur les structures protéiques de notre échantillon. En effet, selon **(Tan et *al*.,2023)**, l'ajout d'un solvant organique polaire comme l'éthanol pourrait induire une dénaturation structurelle immédiate des protéines qui sont par conséquent totalement éliminés lors de l'étape de filtration, expliquant leur absence complète dans notre extrait liquide final.

D'autre part, notre échantillon a montré un taux d'acidité libre, mesurée à 12,55 % équivalent acide oléique, ce qui s'avère nettement supérieure aux valeurs seuils de la littérature pour des extraits frais de *Camellia sinensis*, généralement documentés en dessous de 1,5 % **(George et *al*., 2013).**

Cette valeur d'acidité maximale de notre extrait témoigne d'un taux d'acides gras libres important. Ce résultat est pleinement corrélé aux observations de (**Boukandoul et *al*.,2024)** sur des extraits végétaux non raffinés. Ces auteurs soulignent que l'absence parfois d'étapes de purification et de neutralisation conduit systématiquement à des taux d'acidité libre très élevés, oscillant entre 10 % et 25 % selon la nature de la matrice. En parallèle, notre échantillon a révélé un indice de peroxyde de 7,8 meq O_2/kg. Selon les classifications analytiques classiques **(Lacoste & Soulet, 2004)**, cette valeur indique une phase d'oxydation primaire active au niveau de notre extrait indiquant ainsi une certaine instabilité oxydative. En outre, la confrontation de notre résultat aux standards internationaux du Codex Alimentarius (1999) permet de situer précisément l'état de l'échantillon. La valeur de 7,8 meq O_2/kg est à la limite critique généralement admise de 10 meq O_2/kg pour les fractions lipidiques, ce qui reste inférieur au seuil de dégradation ultime (souvent fixé à 15 meq O_2/kg), suggérant ainsi que notre extrait nécessite un stockage plus strict sous atmosphère inerte. Par ailleurs, les pigments chlorophylliens présents en forte quantité au niveau de la poudre de thé matcha semblent agir comme des photosensibilisateurs majeurs, capables d'initier des réactions radicalaires d'auto-oxydation en présence de lumière et de traces d'oxygène **(Kika et *al*., 2024)**.

2. Analyse quantitative :

Afin de caractériser l'extrait éthanolique du thé Matcha , un dosage des composés phénoliques et des flavonoides a été effectué.

2.1. Dosage des composés phénoliques totaux :

L'évaluation des phénols totaux est réalisée selon la méthode du Folin-Ciocalteu. Une gamme étalon est établi par l'acide gallique avec un coefficient de Corrélation R^2= 0,993, afin de calculer la concentration des phénols totaux au niveau de notre extrait.

Les résultats du dosage sont exprimés en microgrammes équivalent d'acide gallique par miligramme d'extrait (µg EAG/mg ext).

En traçant les courbes d'étalonnage des solutions standards d'acide gallique **(figure 25)** et à partir des valeurs d'absorbance des solutions des extraits éthanolique du thé matcha, nous avons déterminé les teneurs de polyphénols totaux selon la relation suivante :

T= C.V.100/m

C : concentration en mg/l

V : Volume utilisé en litre

m : masse de la poudre de plante en g.

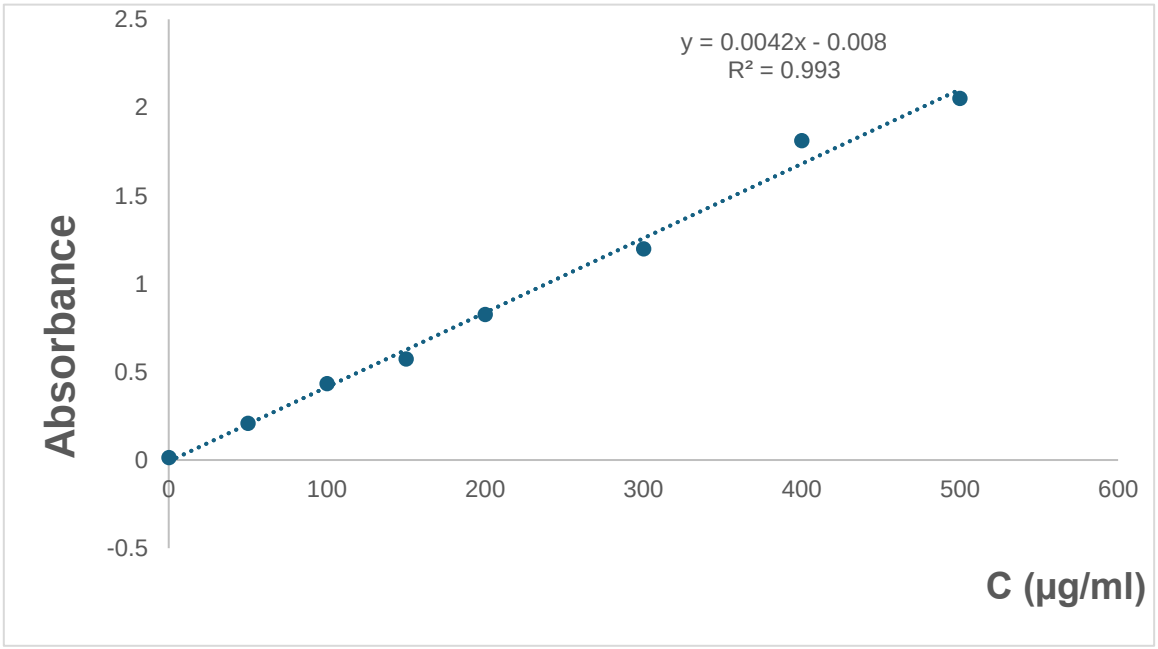


Figure 25 : Courbe d'étalonnage acide gallique

Tableau 06 : Teneur en composés phénolique au niveau de l'extrait éthanolique du thé Matcha (Moyenne±SD trois mesures).

Extrait	Teneur en PT mg EGA/100g
Extrait éthanolique	170,6±0,7

Comme cité plus haut, le matcha, est un thé vert japonais en poudre (*Camellia sinensis*), et c'est selon la manière dont il est consommé, que différents composés et nutriments sont censés être libérés. Le thé matcha est de plus en plus consommé sous forme de complément alimentaire, plutôt que simplement en infusion **(sokry et al. ,2023)**. Grâce à sa méthode de culture unique, il est riche en composés phytochimiques et offre de nombreux bienfaits pour la santé, ayant par exemple de puissantes propriétés antioxydantes. Environ 60 à 70 % des nutriments du thé vert sont insolubles, par exemple les vitamines liposolubles, les fibres alimentaires insolubles, les chlorophylles et les

protéines. D'un autre côté, 30 à 40 % d'entre eux sont des composants solubles, incluant les polyphénols, les vitamines hydrosolubles, la caféine, les fibres alimentaires solubles, les acides aminés, les saponines et les minéraux **(yammoto et al .,2013)**. Malgré l'augmentation des connaissances sur la composition et les propriétés des thés verts, il y a encore un manque de recherches spécifiques sur le matcha. Malgré l'augmentation des connaissances sur la composition et les propriétés des thés verts, il y a encore un manque de recherches consacrées au matcha.
D'après les résultats obtenu et d'après le **tableau 06** , on s'aperçoit que notre échantillon de thé matcha possède une teneur de polyphénols très élevée due à la présence de structures phénoliques comme les acides phénoliques et les tanins qui réagissent avec les réactifs.

En effet, le dosage des composés phénoliques totaux de l'extrait éthanolique de thé matcha (*Camellia sinensis*) a révélé une teneur particulièrement élevée de **170 mg EAG/g d'extrait**. Cette valeur s'inscrit dans la fourchette supérieure des concentrations généralement rapportées dans la littérature scientifique pour des extraits bruts de thé vert, qui varient habituellement entre 150 et 320 mg EAG/g

Les composés phénoliques appartiennent à une classe de métabolites secondaires présents dans les produits végétaux qui présentent une forte bioactivité, capable de réduire le risque d'apparition et de développement des maladies liées au stress oxydatif **(zhao et *al* .,2019)**.Grâce à la culture et à la préparation spécifiques du thé matcha (ombrage des buissons et broyage des feuilles entières), la composition en composés phénoliques diffère des autres thés**(rezaeian et *al* .,2022) ;(meyer et *al* ., 2023)**Lors du traitement, l'oxydation des phénols du thé est réduite dans le thé vert par rapport à d'autres variétés de thé **(zhao et *al* .,2019)**

En outre, la concentration intéressante obtenue au niveau de notre extrait éthanolique valide le choix de l'éthanol comme solvant d'extraction. Les polyphénols du matcha, majoritairement représentés par les catéchines telles que l'épigallocatéchine gallate (EGCG) et le gallate d'épigallocatéchine (ECG), possèdent des structures moléculaires riches en groupements hydroxyle polaires, mais également des noyaux aromatiques hydrophobes **(komes .,2010) .** L'éthanol (seul ou en mélange hydroéthanolique) offre une constante diélectrique intermédiaire idéale. Il permet de rompre efficacement les liaisons hydrogène et les interactions hydrophobes liant les polyphénols à la matrice cellulaire végétale, surpassant ainsi les rendements d'une extraction purement aqueuse **(luo et *al* ., 2022).**De plus, l'utilisation de l'éthanol limite la co-extraction de macromolécules de charge élevée (comme les polysaccharides structuraux ou les protéines), ce qui évite un effet de dilution des principes actifs dans le résidu sec final.

2.2. Dosage des flavonoïdes totaux :

Les résultats de l'analyse spectrophotométriques des flavonoïdes totaux sont obtenus en se basant sur les valeurs d'absorbance des solutions d'extraits, comparées à celles de la solution étalon de catéchine. Les résultats sont indiqués dans le tableau xx, et aussi représentés par **la figures 26**

La teneur en flavonoïdes est exprimée en milligramme équivalents à la quercétine. Ils se rapportent à 100 gramme de matière sèche.

En traçant les courbes d'étalonnage des solutions standard de la quercétine **(figure 26)** et à partir des valeurs d'absorbance des solutions des extraits éthanolique du thé matcha, nous avons déterminé les teneurs de polyphénols totaux selon la relation suivante :

T= C.V.100/m

C : concentration en mg/l

V : Volume utilisé en litre

m : masse de la poudre de plante en g

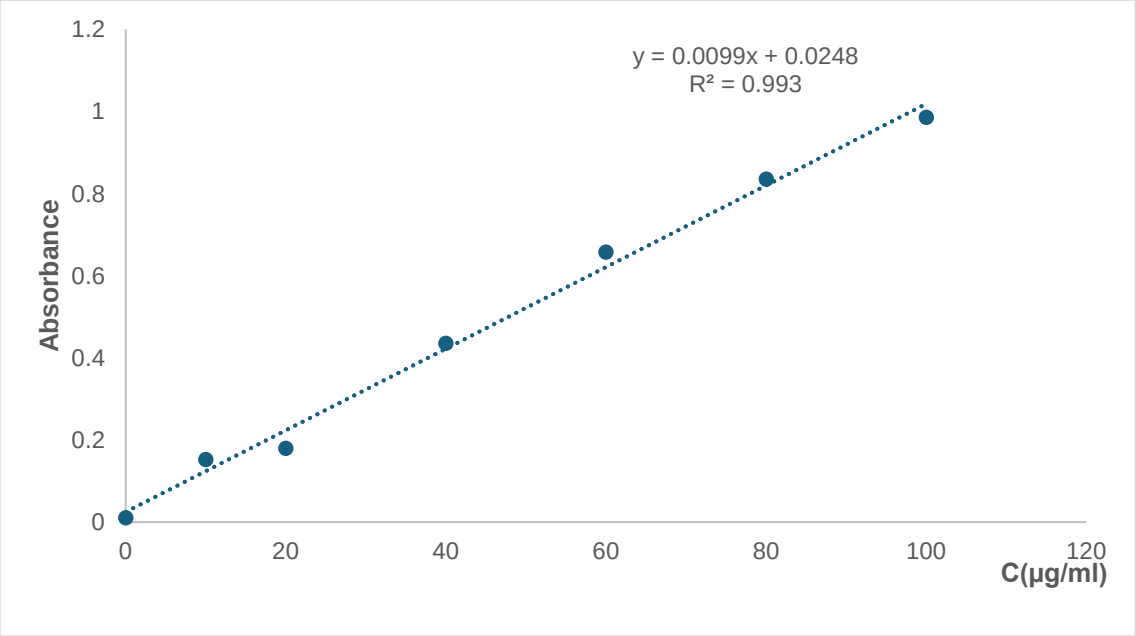


Figure26 : Courbe d'étalonnage de la Quércétine

Tableau 07 : Teneur en flavonoïdes au niveau de l'extrait éthanolique du thé Matcha (Moyenne±SD trois mesures).

Extrait	Teneur en Flavonoides mg EQ/100g
Extrait éthanolique	60,41±1,2

En parallèle, la quantification des flavonoïdes totaux a révélé une concentration de 60,41 mg EQ/g de l'extrait **(Tableau 7)**. Mis en regard de la teneur en polyphénols totaux (170 mg EAG/g), ce résultat indique que les flavonoïdes représentent approximativement 45,2% de la fraction phénolique globale de notre extrait éthanolique. Cette distribution moléculaire s'avère en parfaite adéquation avec le profil phytochimique standard de Camellia sinensis décrit dans la littérature académique. En effet, il est largement établi que dans les feuilles de thé vert, la sous-classe des flavonoïdes — et plus particulièrement les flavan-3-ols (catéchines telles que l'EGCG, l'ECG et l'EGC) — constitue la fraction bioactive prédominante, représentant généralement entre 30 et 50% des polyphénols totaux.

Ainsi, le matcha est l'une des sources les plus riches en flavonoïdes, en particulier en rutine. La rutine est un composé qui a un effet antioxydant et appartient au groupe des polyphénols. De plus, elle aide à renforcer les vaisseaux sanguins, a des propriétés anti-inflammatoires et soutient aussi le système immunitaire **(Hosseinzadeh et *al* ., 2014)**

D'un point de vue méthodologique, cette valeur pourrait être interprétée selon la spécificité du dosage au chlorure d'aluminium $AlCl_3$. Cette méthode repose exclusivement sur la formation de complexes de coordination stables entre les ions/ $AlCl_3$ et les groupements hydroxyle et céto des flavonoïdes (plus spécifiquement les structures de type flavonols, flavones et certaines catéchines).

Dès lors, une concentration de 70 mg EQ/g démontre que l'éthanol a efficacement extrait les flavonoïdes matriciels, il a également manifesté une forte sélectivité pour d'autres métabolites secondaires polaires.

2.3. Etude de l'activité anti-oxydante

2.3.1. Méthode de DPPH

La figure ci-dessous montre l'activité anti-radicalaire du standard utilisé dans notre étude, à savoir l'acide ascorbique, contre le radical DPPH, et cela à différentes concentrations. Une relation proportionnelle est observée entre la concentration du standard et le pourcentage d'inhibition du radical DPPH **(Figure27).**

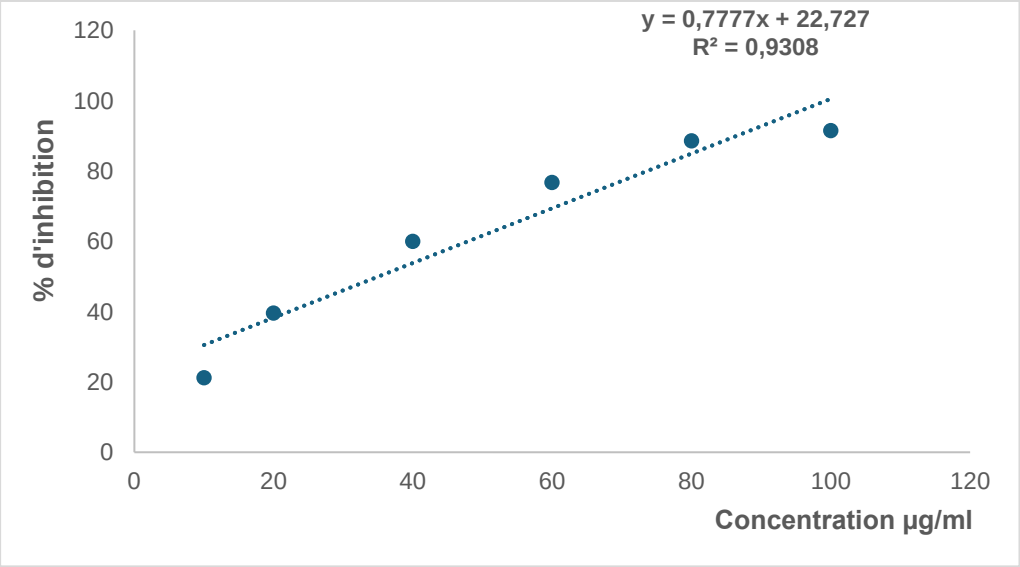


Figure 27 : Activité de piégeage du radical DPPH par l'acide ascorbique de référence.

L'activité antiradicalaire de la gamme de référence a été évaluée à l'aide de l'acide ascorbique (témoin positif). L'analyse de la droite de régression linéaire (Y = 0,777X + 22,727) montre une forte corrélation entre la concentration en antioxydant et le pourcentage d'inhibition (%). Ainsi, par le calcul, la concentration inhibitrice à 50 % (IC_{50}) de l'acide ascorbique a été déterminée à 35,10 µg/ml. Cette valeur à servie de point de comparaison pour évaluer l'efficacité de notre extrait éthanolique de thé matcha.

Le test DPPH a permis de valider le pouvoir antioxydant de notre témoin positif, l'acide ascorbique, avec un IC_{50} de 35,10 µg/ml. Cette valeur s'inscrit parfaitement dans la fourchette des données de la littérature scientifique pour ce protocole standardisé. Plus l'IC_{50} d'une molécule est faible, plus son pouvoir antioxydant est puissant. L'acide ascorbique pur se révèle ainsi être un piégeur efficace de radicaux libres, indispensable pour calibrer l'évaluation relative de notre extrait végétal de matcha.

Concernant l'échantillon végétal, l'extrait éthanolique de thé matcha présente un profil d'inhibition très marqué. Aux fortes concentrations (dilutions au 1/2, 1/4 et 1/6, correspondant à des concentrations supérieures ou égales à 167 µg/ml), l'extrait sature le milieu réactionnel en bloquant plus de 90 % des radicaux libres du DPPH. À partir du modèle linéaire établi, l'IC_{50} de l'extrait éthanolique de thé matcha est établie à 114,11 µg/ml.

Notre étude expérimentale a mis en évidence une IC_{50} de 114,11 µg/ml pour l'extrait éthanolique de thé matcha. Confronté aux données de la littérature, ce résultat s'avère hautement cohérent avec les travaux menés sur les extraits de feuilles de *Camellia sinensis*, dont les valeurs d'IC_{50} s'étendent de 11,83 µg/mL à 147,53 µg/mL selon le mode de préparation **(Indarti et *al.*, 2019)**. Si des infusions de matcha de grade cérémonial à l'eau chaude peuvent afficher des IC_{50} plus basses (environ 27 à 30

µg/ml), selon Farooq et al., (2018), notre valeur se justifie par la nature brute de l'extraction éthanolique. Ce procédé co-extrait des pigments hydrophobes (chlorophylles) et des lipides qui augmentent la masse sèche totale sans participer activement au piégeage du radical. Néanmoins, l'obtention d'une IC_{50} de 114,11 µg/ml valide le thé matcha comme une source brute exceptionnelle d'antioxydants naturels, capable de rivaliser efficacement avec les standards industriels.

Conclusion

Aujourd'hui, le thé est la boisson la plus bue dans le monde après l'eau. Il est obtenu par l'infusion dans l'eau des feuilles du théier, *Camellia sinensis*. Selon le degré d'oxydation, on distingue : le thé vert, oolong, et noir. Une meilleur connaissance des constituants du thé et de leur propriétés, en particulier celles des polyphénols (principalement les catéchines), permettra de comprendre leurs effets sur l'organisme. Les chercheurs actuellement menées autour de cette plante tenant de prouver ses effets bénéfiques sur la santé et en particulier sur la prévention de certaines maladies : cancer, maladies cardio-vasculaire …

Le *thé matcha* constitue une source importante de composés antioxydants, notamment les *catéchines*. Ses antioxydants contribuent à neutraliser les radicaux libres responsables du stress oxydatif.

La consommation du matcha peut participer à la protection des cellules contre les dommages oxydatifs. Grâce à sa richesse en molécules bioactives, le *thé matcha* présente plusieurs effets bénéfiques pour la santé. Le thé matcha représente ainsi un aliment fonctionnel prometteur, associant valeur nutritionnelle et potentiel préventif.

En conclusion, le *thé matcha* apparaît comme une boisson naturelle aux propriétés antioxydantes remarquables, dont les bienfaits justifient l'intérêt croissant de la recherche scientifique et des consommateurs

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **A.Albassam, J.S. Markowitz** An appraisal of drug-drug interactions with Green tea (Camellia sinensis) Planta Med., 234 (2017),
- **AATTI, I.** Evaluation des activités antioxydant et antiradicalaire d'un mélange d'épices « ras el hanout ». Université KasdiMerbah , Ouargla. 2014.
- **AATTI, I**. Evaluation des activités antioxydant et antiradicalaire d'un mélange d'épices « ras el hanout ». Université KasdiMerbah , Ouargla. 2014**.**
- **Alsenani F. et al.,** Understanding the role of green tea and matcha consumption in cardiovascular health, obesity, and diabetes, Human Nutrition & Metabolism, 40, 200302 (2025).
- **Aminata, K** 2005 (doctorat)Université de Bamako, Mali: Etude de trois plantes utilisées dans letraitement traditionnel de l'ulcère gastroduodénal dans le District de Bamako: Borassus æthiopumMart
- **Azouzi, D**. Effet d'un traitement thermique sur les polyphenols du millet et leur pouvoir antioxydant, mémoire de master. Adrar. 2014.
- **B.K. Betari,Kuntze Shofi,** Camellia sinensis The World FloraOnline, https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000582676/; 2024 [accessed 31 V.E. 2023.
- **Baba Y. et al**., Matcha consumption and attentional function: randomized study, Nutrition Research, 87, 25–33 (2021).
- **Banerjee B, Chaudhuri T.C**. Therapeutic Effects of Tea. Enfield: Science Publishers, Inc. 2005, p 206.
- **Barkley, T., Brouillet, L et Strother J.** (2006). Flora of North America Asteraceae. Vol. (19), p :3-69
- **Barros L, Ferreira MJ, Queiros B, Ferreira ICFR, Baptista P** (2007). Total phenols, ascorbic sacid, b-carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chem*, **103**, 4133419.
- **BENASSOU, N.** Etude de l'activité antioxydante des polyphénols de quelques variétés de dattes, mémoire de master. Guelma. 2013.
- **Benmimoune.S., Bensouna.S.N., Benrebiha.F.Z et Chaouia.C.** Hachette pratique. France. 205.-
- **Borthakur, B. Wang, L.W. Meinhardt, L. Zhou, H. Tan, A. Baruah, S. Borchetia, W. Fang, D. Zhang** Multiple distinctive lineages of Assam tea (Camellia sinensis var. assamica) from India and China revealed by Single Nucleotide Polymorphism markers Beverage Plant Res., 3 (2023)

- **Bouvier F., Rahier A et Camara B**. (2005). Biogenesis, molecular regulation and function of plant isoprnoids. *Progress in lipid research*, 44, p: 357-429
- **Bremer K., Gordon P et Dewolf, J.** (1994). Asteraceae cladistics and classification. Portland, 97 (890), p:176-178 [8] Funk V., Susanna A., Stuessy, T et Robinson H. (2009). Classification of Compositae. In V. A.
- **Bruneton J. (**1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. (3ème edition.). Editions TEC et DOC, 783- 785 p
- **Bruneton J.** Pharmacognosie. Phytochimie : Plantes médicinales. 3e édition, Paris : Editions TEC & DOC, Cachan : Editions Médicales Internationales. 1999 : p. 239-249, p. 309-327, p. 369-388, p. 1070-1079
- **Bruneton J. Pharmacognosie.** Phytochimie : Plantes médicinales. 3e édition, Paris : Editions TEC & DOC, Cachan : Editions Médicales Internationales. 1999 : p. 239-249, p. 309-327, p. 369-388, p. 1070-1079.
- **Cabrera, C., Artacho, R., &Giménez, R.** (2006). Beneficial effects of green tea – A review. Journal of the American College of Nutrition, 25(2), 79–99.
- **Chassagne N.,** (2022). Le thé : Historique, composition et nouvelles perspectives
- **Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J**. (2018). *The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review*. Frontiers in Nutrition, 5, 87
- **Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J**. (2018). *The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review*. Frontiers in Nutrition, 5, 87
- **Coulon L** (2004). Effet d'un hydroperoxyde lipidique et des LDL oxydées sur les enzymes impliquées dans la libération de l'acide arachidonique des phospholipides plaquettaires. Thèse de Doctorat .Institut National des Sciences Appliquées(Lyon), pp : 59-70
- **Datta AG, Bandyopadhyay D, Chattopadhyay A and Ghosh G** (2004). Oxidative stress induced ischemic heart disease: protection by antioxidantrs. *Curr Med Chem*, **11,** 369- 387.
- **De La Lastra, C. A., & Villegas, I.** (2007). Resveratrol as an antioxidant and pro-oxidant agent: mechanisms and clinical implications. Biochemical Society Transactions, 35(5), 1156 _1160. de Phoenix dactylifera L dans la région du Sud d'Algérie (la région d'Oued Souf). Doctoral
- **Delattre, J., Beaudeux J.L., Bonnefont-Rousselot, D.** (2005). Antioxydants et nutrition. In : Radicaux libres et stress oxydant, Aspects biologiques et pathologiques. Edt Tec Doc. Paris : Lavoisier, p45-60,261-276.
- **Delmas, F.X. & Minet, M.** (2007). Le guide de dégustation de l'amateur de thé .Les éditions du chéne. Paris

- **Dewick P M**. Medicinal natural products: A Biosynthetic Approach. England (West Sussex) : John Wiley & Sons Ltd. 1997, p. 135-138, p. 368.
- **Diallo, A**. (2005). Étude de la phytochimie et des activités biologiques de Syzygium guineensewilld. (Myrtaceae). Thèse de doctorat. Mali.
- **Donald J et Gearge S.** (1968). *Chimie organique*, 2 Edition, Gautier Villars.
- **Droge W** (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. PhysiolRev;82: 47-95. **Dufresne, C.J.; Farnworh, E.R. A** Review of Latest Research Findings on the Health Promotion Properties of Tea. J nutr.2001 Effect shading intensity on color, chemical composition, and sensory evaluation of green tea (Camelia sinensis var Assamica)March 2024].
- **Esterbauer, H., Gebicki, J., Puhl, H., &Jurgens, G**. (1992). The role of lipid peroxidation and antioxidants in oxidative modification of LDL. Free Radical. Biology&Medicine, 13, 341 – 390.
- **Favier, A**. (2003). Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité Chimique, 108 – 115. From the *Classic of Tea*:。"Sawamura, Shin'ichi (2011).
- **Funk, A. Susanna, T. F. Stuessy, et R. J. Bayer**, Systematics, Evolution, and Biogeography of Compositae. International Association for Plant Taxonomy. Vienna, p: 171–189
- **Green, D. R., & Reed, J. C**. (1998). Mitochondria and apoptosis. Science, 281, 1309 – 1312.
- **Gruenwald J, Brendler , Jaenicke C.** PDR for herbal medicines, Fourth Edition, Muntvale : Edition Thomson. 2007, p. 414-422
- **Guillouty. A**. (2016). Plantes médicinales et antioxydants. Thèse Pour Le Diplôme D'état
- **Gutteridge, J. M., & Halliwell, B**. (1990). The measurement and mechanism of lipid peroxidation in biological systems. Trends Biol Sci, 15, 129 – 135.
- **H.C. Rawal, S. Borchetia, B. Bera, S. Soundararajan, R.V.J. Ilango, A.K. Barooah, T.R. Sharma, N.K. Singh, T.K.** MondalComparative analysis of chloroplast genomes indicated different origin for Indian tea (Camellia assamica cv TV1) as compared to Chinese tea Sci. Rep., 11 (2021)
- **Halliwell B** (1997). Antioxidants: the basics- What they are and how to evaluate them. In: Si antioxidants in disease mechanisms and therapy. Advances in pharmacologyacademic press London, **38,** pp**:** 4-6**.**
- **Harkati B. (2011).** Valorisation Et Identification Structurale Des Principes Actifs De La Plante De La Famille Asteraceae : ScorzoneraUndulata. Thèse de doctorat : Université Mentouri. Constantine.

- **Hill R.** (2002). dictionary of natural products on CD-ROM, Ed. Version 1.0 (2em ed). Chapman et Hall, CRC, New ond.
- **Hopkins W.** (2003). Physiologie végétale. De Boeck Supérieur Huang H., Tong Y., Zhang Q., and Gao L Difinition1Golender L (10 August 2003), "Botanics", *History of Tea*, archived from the original on 9 January 2016, retrieved 5 February 2012, The first edition of Linnaeus's Species Plantarum published in 1753 suggested calling the tea plant Thea sinensis., 2013, Genome size variation among and within Camellia species by using flow cytometric analysis, PLoS One, 8(5): e64981.
- **Huang H., Tong Y., Zhang Q., and Gao L.,** Nomenclature et taxonomie : 2013"Indications for three independent domestication events for the tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) and new insights into the origin of tea germplasm in China and India revealed by nuclear microsatellites issus des alcools: Formation de Depsides. Thèse de Doctorat.Université de Limoges. Spécialité: Biophysique, pp:6-34.
- **Kika ,Joanna Karolina Jakubczyk , Alicja Ligenza , Dominika Maciejewska-Markiewicz , Kinga Szymczykowska , Katarzyna Janda-Milczarek** ; Green Tea: Chemical Composition, Phenolic Acids, Caffeine and Fatty Acid Profile;2024
- **K.A. Franklin, G.C**. Whitelam Phytochromes and shade-avoidance responses in plants Ann. Bot., 96 (2005), pp. 169-175,
- **Kamal-Eldin And appelqvist LA** (1996). The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipides,* **31,** 671-761.
- **Khan, N., & Mukhtar, H**. (2013). Tea polyphenols in promotion of human health. Nutrients, 5(3), 602–623. https://doi.org/10.3390/nu5030602
- **Klaas C., Wagner G., Laufer S., Sosa S., Loggia R., Bomme U., Pahl H., Kohen R et Nyska A.** (2002). Oxidation of biological systems: Oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions and methods for their quantification. *ToxicoloPathol*. 30, p: 620 650
- **Koch, W.; Kukula-Koch, W.; Głowniak, K. Catechin** Composition and Antioxidant Activity of Black Teas in Relation to Brewing Time. J aoak 2001
- **Kochman, J., Jakubczyk, K., Antoniewicz, J., Mruk, H., & Janda, K.** (2021). *Health Benefits and Chemical Composition of Matcha Green Tea: A Review*. Molecules, 26(1), 85
- **koeschlin-Ramonatxo C** (2006). Oxygène, stress oxydant et supplémentations antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutr clin metab*, **20**, 1653177.
- ***Krishna A.B., Reddy M.V.N., Reddy G.C.S., Krishna B.S., Nayak S.K., Reddy C.S.,*** *, IJABPT, 1 (2010)873-882.*

- **Kurleto, K.; Kurowski, G.; Laskowska, B.; Malinowska, M.; Sikora, E.; Vogt, O.** WpływWarunkówParzenia Na ZawartośćAntyoksydantow w NaparachRóżnychRodzajówHerbat. 2013
- **Lacolley, P., Babuty, D., Boulanger, C., Ghaleh, B., Loirand, G., Pinet, F., & Samuel, J.L**. (2007). Biologie et pathologie du coeur et des vaisseaux. Edition John LibbbeyEurotext, Paris, p 312 ,316 , 317.
- **Laouini. S. E.** (2014). Etude phytochimique et activité biologique d'extrait de desfeuilles
- **Leverse, X., Cosnes, J., Erny, P., &Hasselmann, M**. (2001). Traité de nutrition artificielle de l'adulte. 2ème édition. Edition Springer, p 241.
- **M.I. Prasanth, B.S. Sivamaruthi, C. Chaiyasut, T. TencomnaoA** review of the role of Green tea (Camellia sinensis) in antiphotoaging, stress resistance, neuroprotection, and autophagyNutrients, 11 (2019),
- **Mandel, S.A.; Avramovich-Tirosh, Y.; Reznichenko, L.; Zheng, H.; Weinreb, O.; Amit,** T.; Youdim, M.B.H**.** Multifunctional Activities of Green Tea Catechins in Neuroprotection. Modulation of Cell Survival Genes, Iron-Dependent Oxidative Stress and PKC Signaling Pathway. 2005
- **Marfak A** (2003). Radiolyse gamma des flavonoïdes .Etude de leur réactivé avec les radicaux Meegahakumbura MK, Wambulwa MC, Li MM, et al. (2018). "Domestication origin and breeding history of the tea plant (Camellia sinensis) in China and India based on nuclear microsatellites and cpDNA sequence data
- **MERIDJA, D**. Evaluation des constituants bioactifs et potentiel antioxydant des extraits de quelques plantes medicinales poussant en algerie, mémoire de master. Béjaia. 2014.
- **Mesure d'AYA** EcopraResearch Co Ltd., Tableau des norms de composition des aliments au Japon, 5e edition révisée, 2010 L. Borgese et al.2010
- **Migdal, C. et Serres, M**. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydatif. Sciences de .la médecine : M/S, 27 (4), 405-412
- **Milane H** (2004). La quercétine et ses dérivés : molécules à caractère prooxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications. Thèse de Doctorat .Université Louis Pasteur (Strasbourg). Spécialité Pharmacologie, pp : 13-3.
- **Morena, M., Martin-Mateo, M., Cristol, J. P., &Canaud, B**. (2002). Stress oxydant, hémoincompatibilité et complications de la dialyse au long cours. Néphrologie, 23(5), 201-2
- **Nikic, P., Dragicevic, D., Jerotic, D., Savic, S., Djukic, T., Stankovic, B., ... & Matic, M.** (2023). Polymorphisms of Antioxidant Enzymes SOD2 (rs4880

- **Pasquier, C.** (1995). Stress oxydatif et inflammation. Revue Française des Laboratoires, 276, 87 – 92.
- **Pastore et Fratellone**, **Yao et al.** (2024)Le thé : Historique, composition et nouvelles perspectives thérapeutiques, Thèse en Pharmacie. Clermont,Historique1 – Synthèse des recherches génomiques sur *Camellia* (incluant l'histoire évolutive, la diversification et l'adaptation)
- **Phuah Y. Q. et al.,** A review on matcha: Chemical composition, health benefits, Food Research International, 170, 113007 (2023) Matcha Green Tea: Nutritional and phenolic composition, Foods (MDPI), 13(8), 1167 (2023)
- **Prévot-D'alvise** N (2006). International free radical summer school. Univresité du Sud Toulon-Var. *Société Française de Biochimie et de Biologie Moléculaire*, pp:3
- **Pryor WA** (1984). In Free radicals in Molecular Biology, Aging and Disease ; Armstrong D, Sohal RS, Culter RG and Slater T.F. Eds. *Raven Press*, *New York, NY*, pp13
- **Romieu I and Trenga C** (2001). Diet and obstructive lung diseases**.** *Epidemiol Rev,* **23 (2),** 269-287.
- **Romieu I and Trenga C** (2001). Diet and obstructive lung diseases**.** *Epidemiol Rev,* **23** (2),269-287.
- **Rump AF, Schussler M, Acar D, Cords A, Ratke A, Theisohm M, Rosen R, Klaus W,** Friek (1995). Effect of different inotropes with antioxydant properties on accute regional myocardial ischemia in isolated rabbit hearts. *Gen pharmacol*, **26**, 306-311
- **Şahin A.,** The discourse of a global consumption frenzy: matcha consumption representation, International Journal of Gastronomy and Food Science, 25, 100456 (2025).
- **Sano T., Horie H., Matsunaga A., Hirono Y.** Effect of shading intensity on morphological and color traits and on chemical components of new tea (Camellia sinensis L.) shoots under direct covering cultivation. J. Sci. Food Agric. 2018
- **Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C., &HernándezCarlos, B.** (2019). Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. Antioxidants, 10, 1-29.
- **Schweikart, G. Rinzler, C. A** (2022). The: A comprehensive guide to the beverage and its history. Reaktion Books.. (2022).
- **Shevchuk, A.; Megías-Pérez, R.; Zemedie, Y.; Kuhnert, N.** Evaluation of carbohydrates and quality parameters in six types of commercial teas by targeted statistical analysis. Food Res. Int. 2020, 133, 109122.

- **Sugiyama T, Sadzuka Y, Theanine**, a specific glutamate derivative in green tea, reduces the adverse reactions of doxorubicin by changing the glutathione level. Cancer Letters 2014 ,212 : 177–184
- **Sugiyama T, Sadzuka Y, Theanine,** Paragraphe et Figure : a specific glutamate derivative in green tea, reduces the adverse reactions of doxorubicin by changing the glutathione level. Cancer Letters 2014 ,212 : 177–184
- **Sweetman S C. Martindale** The Complete Drug Reference. Thirty-third Edition, LondonChicago : Pharmaceutical Press, 2002, p. 761-763, p. 777-785, p. 1681
- **Teuscher E., Anton R. et Lobstein A**. (2005). Plantes aromatiques : Épices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles. Tec et Doc éditions, Paris Guignard J. (1994). Abrégé botanique, 9émé edition :203-204 thérapeutiques, Thèse en Pharmacie. Clermont, 140p.
- **Traber MG and Atkinson** (2007). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radic Biol Med,* **43**, 4315.
- **Traber MG and Atkinson (2007**). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radic Biol Med,* **43**, 4315.
- **Unno, K., et al.** (2022). *The Therapeutic Potential of Matcha Tea: A Critical Review on Human and Animal Studies*. Nutrients
- **Wang .YM , Ren .N , Rankin .GO ,Li .B , Rojanasakul .Y , Tu. Y , Chen YC,**Effet antiproliférатif et arrêt du cycle cellulaire induits par les saponines extraites de la fleur de thé (Camelliasinensis) dans les cellules cancéreuses ovariennes humaines , Journal des aliments fonctionnels .2017 ;37 : 310 – 321
- **X. Fu, Y. Liao, S. Cheng, X. Xu, D. Grierson, Z. Yang** Nonaqueous fractionation and overexpression of fluorescent-tagged enzymes reveals the subcellular sites of L-theanine biosynthesis in teaPlantBiotechnol. J., 19 (2021), pp. 98-108,
- **Y. Li, C. Chen, Y. Li, Z. Ding, J. Shen, Y. Wang, L. Zhao, M. Xu The** identification and evaluation of two different color variations of tea.
- **Y. Shi, Y. Zhu, W. Ma, Z. Lin, H. Lv** Characterisation of the volatile compounds profile of Chinese pan-fried green tea in comparison with baked green tea, steamed green tea, and sun-dried green tea using approaches of molecular sensory science Curr. Res. Food Sci., 5 (2022)
- **y.shi ;yzhNacer A., & Bouras. S.,** (2014).Thé vert, catéchines et santé. Projet de fin d'étude. Université KasdiMerbah d'Ouerguela
- **Yamamura S, Ozawa K, Ohtani K, Kasai R and Yamasaki K** (1998). Antihistaminic flavones and aliphatic glycosides from menthe spicata. *Phytochem*, **48,** 131.

- **Yang, C. S., Wang, H., Sheridan, Z. P.** (2018). *Studies on Prevention of Obesity, Metabolic Syndrome, Diabetes, Cardiovascular Diseases and Cancer by Tea*. Journal of Food and Drug Analysis, 26(1), 1-13
- **Zenk M et Juenger M.** (2007)**.** Evolution and current status of the phytochemistry of nitrogenous compound. *Phytochemistry Review,* 68,p: 2757 – 2772